

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**ETİL ASETAT ÜRETİMİNİN YAPILACAĞI TEPKİMELİ DAMITMA
KOLONUNUN ÇOK DEĞİŞKENLİ AYIRIMLI MODEL ÖNGÖRMELİ
DENETİMİ**

Abdulwahab GIWA

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2012**

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Abdulwahab GIWA tarafından hazırlanan “**Etil Asetat Üretiminin Yapılacağı Tepkimeli Damıtma Kolonunun Çok Değişkenli Ayırımı Model Öngörmeli Denetimi**” adlı tez çalışması 12.09.2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Süleyman KARACAN
Ankara Üniversitesi, Kimya Mühendisliği A.B.D.

Jüri Üyeleri :

Başkan : Prof. Dr. Canan CABBAR
Gazi Üniversitesi, Kimya Mühendisliği A.B.D.

Üye : Prof. Dr. Süleyman KARACAN
Ankara Üniversitesi, Kimya Mühendisliği A.B.D.

Üye : Prof. Dr. Ali KARADUMAN
Ankara Üniversitesi, Kimya Mühendisliği A.B.D.

Üye : Doç. Dr. Zehra ZEYBEK
Ankara Üniversitesi, Kimya Mühendisliği A.B.D.

Üye : Doç. Dr. Ayla ALTINTEN
Gazi Üniversitesi, Kimya Mühendisliği A.B.D.

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Özer KOLSARICI
Enstitü Müdürü

ÖZET

Doktora Tezi

ETİL ASETAT ÜRETİMİNİN YAPILACAĞI TEPKİMELİ DAMITMA KOLONUNUN ÇOK DEĞİŞKENLİ AYIRIMLI MODEL ÖNGÖRMELİ DENETİMİ

Abdulwahab GIWA

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Süleyman KARACAN

Bu çalışmada, tepkimeli dolgulu damıtma kolonunun denetimi Ayırmalı Model Öngörmeli Denetim algoritması ile gerçekleştirilmiştir. Dalgulu tepkimeli damıtma kolonunda asetik asit ve etanolün tepkimeye girmesi sonucu etil asetat üretilmiştir. Prosesin işletim parametreleri “HYSYS 3.2” yardımı ile Ardışık Kuadratik Programlama optimizasyon tekniği kullanılarak belirlenmiştir. Kolonun matematiksel modelleri geliştirilerek sayısal olarak “MATLAB” ortamında çözülmüştür. Benzetim sonuçları deneysel verilerle karşılaştırılarak modellerin geçerliliği gösterilmiştir. Ayrıca, deneysel dinamik veriler kullanılarak “Neural Network Toolbox” yardımıyla prosesin NARX modelleri de geliştirilmiştir. Geliştirilen Yapay Sinir Ağı (NARX) modelleri Ayırmalı Model Öngörmeli Denetim algoritmasının oluşturulması için kullanılmıştır. Prosesin iletim fonksiyonları “System Identification Toolbox” yardımıyla bulunmuştur. Bu iletim fonksiyonları ayırımcıların hesaplanması için kullanılmıştır. Prosesin denetlenen değişkenleri olarak üst ürün sıcaklığı ve tepkime bölgesi sıcaklığı, ayarlanabilen değişkenler olarak ise geri akma ve besleme akış hızı oranları seçilmiştir. Ayırmalı, ayırimsız Model Öngörmeli ve klasik Oransal-İntegral-Türevsel Denetimlerinin algoritması “MATLAB/Simulink” ortamında oluşturulmuştur. Geliştirilen algoritmalar tepkimeli damıtma kolonuna “MATLAB/Simulink” ve denetim modülleri yardımı ile bağlanıp uygulanmıştır. Her bir denetim algoritması set noktası ve bozucu etkiler için test edilmiştir. Ayırmalı Model Öngörmeli Denetimi sonuçları ayırimsız Model Öngörmeli Denetimi ve klasik Oransal-İntegral-Türevsel Denetim sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen ürün numuneleri Gaz Kromatografi - Kütle Spektrometresi’nde analiz edilerek numunelerin bileşimleri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, tepkimeli dolgulu damıtma kolonuna Ayırmalı Model Öngörmeli Denetimi uygulandığında, en yüksek etil asetat derişimi molce 0.68 ve ağırlıkça 0.80 olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler denetim yönünden de tatmin edicidir. Her bir denetim algoritması sonuçlarının Hataların Karelerinin Toplamı değeri hesaplanmıştır. Buna göre Ayırmalı Model Öngörmeli Denetim performansının en iyi olduğu bulunmuştur.

Eylül 2012, 199 sayfa

Anahtar Kelimeler: Tepkimeli damıtma kolonu, ayırmalı model öngörmeli denetimi, yapay sinir ağları

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

MULTIVARIABLE DECOUPLING MODEL PREDICTIVE CONTROL OF REACTIVE DISTILLATION COLUMN FOR THE PRODUCTION OF ETHYL ACETATE

Abdulwahab GIWA

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Chemical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Süleyman KARACAN

In this work, the control of a reactive packed distillation column was accomplished with Decoupling Model Predictive Control. In the column, ethyl acetate was produced from the reaction between acetic acid and ethanol. The operating parameters of the process were determined with the aid of HYSYS 3.2 using Sequential Quadratic Approach optimization technique. The theoretical models of the column were developed and solved in MATLAB environment. The results of the simulation were compared with the experimental ones to show the validity of the models. In addition, using the experimental data and with the aid of Neural Network Toolbox, NARX models were as well developed. The developed Neural Network (NARX) models were used for the formulation of the Decoupling Model Predictive Control algorithms. The transfer functions of the process were obtained with the aid of System Identification Toolbox. The process transfer functions were used for the estimation of the decouplers. The top product temperature and the reaction segment temperatures were selected as the controlled variables while the reflux ratio and the feed ratio were the manipulated variables. Decoupling and undecoupled Model Predictive Control as well as the classic Proportional-Integral-Derivative Control algorithms were formulated in MATLAB/Simulink environment. The formulated algorithms were connected and applied to the reactive distillation column with the aid of MATLAB/Simulink and control modules. Each of the control algorithms was tested for set-point tracking and disturbance rejection. The results of the Decoupling Model Predictive Control were compared with those of the undecoupled Model Predictive Control and the classic Proportional-Integral-Derivative Control. Analyzing the samples taken from the experimental work in Gas Chromatography - Mass Spectrometer, the compositions were estimated. According to the results obtained, when the Decoupling Model Predictive Control was applied to the reactive packed distillation column, mole fraction of 0.68 and weight fraction of 0.80 were obtained as the maximum concentration of ethyl acetate. These results were found to be satisfactory in terms of control. The Integral Square Error of each control algorithm was calculated. Based on this, the performance of the Decoupling Model Predictive Control was thus found to be the best.

September 2012, 199 pages

Key Words: Reactive distillation column, decoupling model predictive control, neural network

TEŞEKKÜR

Çalışmalarımı yönlendiren, araştırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyerek akademik ortamda olduğu kadar beşeri ilişkilerde de engin fikirleriyle yetişme ve gelişmeye katkıda bulunan danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Süleyman KARACAN'a (Ankara Üniversitesi, Kimya Mühendisliği A.B.D.) en derin duygularıyla çok ama çok teşekkür ederim.

Analiz çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer Hocam Sayın Prof. Dr. Ali KARADUMAN'a (Ankara Üniversitesi, Kimya Mühendisliği A.B.D.) teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında çok kıymetli bilgi ve düşüncelerini sunarak yardımlarını esirgemeyen çok saygıdeğer Hocam Sayın Prof. Dr. Habibe Canan CABBAR'a (Gazi Üniversitesi, Kimya Mühendisliği A.B.D.) çok çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Ofisi (BAP) tarafından 09B4343007 No'lu proje kapsamında desteklenmiştir. BAP' a teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez çalışmalarım TÜBİTAK – BİDEB tarafından desteklenmektedir. Doktora programımı desteklediği için, TÜBİTAK – BİDEB'e çok ama çok teşekkür etmekteyim.

Tatil zamanlarında Süleyman Hocam'ı arayıp belki de rahatsız ettiğim zaman bana anlayış gösteren ve manevi desteklerini esirgemeyen eşi Dr. Filiz KARACAN'a ve çocukları Erenay ve Çağan KARACAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Bana hem hocalık hem de abilik yaptığı için saygıdeğer Hocam Prof. Dr. Burhanettin ÇİÇEK'e şükranlarımı en derin duygularıyla sunarım. Hem akademik çalışmalarında hem de çocuklarımın konusunda bana abilik yaptığı için, her zaman Allah ondan razı olsun!

Türkiye'de rahat yaşayabilmem için katkıda bulunan saygıdeğer Hocam Prof. Dr. Zeki AKTAŞ'a en derin duygularla teşekkür ederim.

Çok saygıdeğer Hocam Ankara Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı Temel İşlemler Bilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Mustafa ALPBAZ'a desteklerinden, özellikle danışman sorunum olduğu zaman beni Süleyman Hocam'a gönderdiği için, teşekkürlerimi sunuyorum çünkü Allah'ın izniyle Süleyman Hocam'la çalışmaktan çok memnun oldum.

Manevi desteklerini esirgemeyen Ankara Üniversitesi, Kimya Mühendisliği A.B.D. saygıdeğer Hocalarım Prof. Dr. Taner TOĞRUL'a, Prof. Dr. Bülent AKAY'a, Prof. Dr. Emine BAYRAKTAR'a, Emekli Prof. Dr. Ali Yavuz BİLGESU, Prof. Dr. Güzide Çalık GARCIA'ya, Prof. Dr. Ayla ÇALIMLI'ya, Prof. Dr. Murat EROL'a, Prof. Dr. Afife GÜVENÇ'e, Prof. Dr. Hale HAPOĞLU'na, Prof. Dr. Çetin KOÇAK'a, Prof. Dr. Ülkü MEHMETOĞLU'na, Prof. Dr. Yahya SUYADAL'a, Prof. Dr. Serpil TAKAÇ'a, Prof. Dr. Hasip YENİOVA'ya, Prof. Dr. Nuray YILDIZ'a, Doç. Dr. Zehra ZEYBEK'e, Yard. Doç. Dr. Suna ERTUNÇ'a, Yard. Doç. Dr. Emir H.ŞİMŞEK'e, Y. Doç. Dr. Emine YAĞMUR'a ve Uzman Kimyager Nilüfer VURAL'a çok çok teşekkür ederim.

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün tüm personellerine özellikle Sayın Mevlüt ERTEKİN'e ve Sayın Esra TAMER'e yardımları ve manevi destekleri için çok çok teşekkür ederim. Her zaman Allah onlardan razı olsun!

Ankara Üniversitesi Türkçe ve Yabancı Dil Araştırma ve Uygulama Merkezi (TÖMER) saygıdeğer Hocalarım'a özellikle Sayın Yüksel HAVUŞ'a, Sayın Serap ALAKOÇ'a, Sayın Ayşegül ASLAN'a, Sayın Emine AÇIKSÖZ'e ve Sayın Şebnem DİLÇİN'e Türkçe öğrenirken Türkçe'yi bana sevdirdikleri için sonsuza kadar teşekkürlerimi sunarım.

Ankara Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'ndeki sevgili kardeşlerim Araş. Gör. İbrahim BİLİCİ'ye, Araş. Gör. Yavuz GÖKÇE'ye ve eşi Yük. Müh. Sıla BAL GÖKÇE'ye, Araş. Gör. Furkan SOYSAL'a, Araştırmacı Mehmet Yılmaz'a, Araş. Gör. Adnan ALDEMİR'e ve Araş. Gör. Rahime SONGÜR'e manevi destekleri için çok çok teşekkür ederim. Her zaman Allah onlardan razı olsun!

Aynı odada çalıştığım arkadaşım ve kardeşim Sayın Yük. Müh. Furkan AULIA'ya her zaman her türlü desteklerini esirgemediğinden dolayı her zaman Allah ondan razı olsun! Allah işini gücünü rast getirsin!

Ankara Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'ndeki arkadaşlarım Sayın Yük. Müh. Lutfiye Canan PEKEL'e, Sayın Yük. Müh. Ayşe Akpınar'a, Araş. Gör. Dr. Aylin Geçer'e, Araş. Gör. Ceren ATILA DİNÇER'e, Araş. Gör. Ayşe Ezgi ÜNLÜ BÜYÜKTOPÇU'ya, Araş. Gör. İffet Işıl GÜRTEN İNAL'a, Araş. Gör. Pınar KOCABAŞ'a ve Araş. Gör. Zeynep YILMAZER'e manevi destekleri için çok çok teşekkür ederim.

Manevi desteklerini esirgemeyen Abim, Bölüm Sekreteri, Sayın Ufuk GÖKMEN'e çok çok teşekkür ederim.

Yardımlarından ve kardeşlik yaptıklarından dolayı Sayın Reşit KAZICI'ya, Araş. Gör. Hilal ÇELİK KAZICI'ya ve Sayın Ruken ÇELİK'e çok çok teşekkür ediyorum. Her zaman Allah onlardan razı olsun!

Grupta çalıştığım tüm arkadaşlarım Sayın İsmail BAYRAM'a, Sayın Levent TAŞTİMUR'a, Sayın Rukiye BABACAN'a, Sayın Ayşe KEMERKAYA'ya, Sayın Yasemin KAYNAK'a, Sayın Esra ŞAHİN'e, Sayın Damla GÜL'e, Sayın Elif YÜREKLİ'ye, Sayın Burcu ÖZKELEŞ'e ve Sayın Abdulkadir MALAT'a anlayış gösterdiklerinden dolayı çok çok teşekkür ederim.

Türkiye'de rahat olmam için yardımlarından, kardeşlik yaptıklarından ve her türlü desteklerinden dolayı Sayın Avukat Samir ALTUNKAYNAK'a ve Sayın Avukat Tuba ALTUNKAYNAK'a şükranlarımı sunarım. Hayatıma katkıları çok büyüktür. Allah onlardan razı olsun! Allah gönüllerin muradını versin!

Milli Eğitim Bakanlığı Dış İlişkiler Genel Müdürlüğü'nün tüm elemanlarına özellikle Sayın Aykut UYUMUŞ'a, Sayın Murat YÜCE'ye, Sayın Sultan KÜSMEZ'e, Sayın

Ferhan DÜNDAR'a ve Sayın Alpaslan DEMİR'e yardımlarından dolayı çok çok teşekkür ediyorum. Her zaman Allah onlardan razı olsun!

Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı Uluslararası Öğrenciler Daire Başkanlığı'nın bütün personellerine özellikle saygıdeğer Daire Başkanım Sayın Ömer AYÇİÇEK'e, Sayın Cengiz POLAT'a, Sayın Ali KURT'a, Sayın Mustafa YAKUPOĞLU'na, Sayın Engin VURAL'a, Sayın Arife DEMİR'E, Sayın Nazlı Ceren AKÇAY'a ve Sayın Murat KAZANCI'ya manevi ve her türlü destekleri için çok çok teşekkür ederim.

Anlayışlı oldukları için rastladığım TÜBİTAK – BİDEB'in tüm elemanlarına özellikle Sayın Oya KALAYCIOĞLU'na, Sayın Burçin ALPARSLAN'a, Sayın Hakan KAFADAR'A ve Sayın Duran MEŞE'ye çok çok teşekkür etmekteyim.

Her türlü destekleri için Federal Teknoloji Üniversitesi, Minna, Nijerya'ya ve Nijerya Federal Cumhuriyeti'ne teşekkürlerimi sunmaktayım.

Tüm hayatım boyunca sevgilerini, maddi, manevi ve her türlü desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen canım aileme özellikle rahmetli Annem'e ve rahmetli Babam'a şükranlarımı sunuyorum; Allah rahmet eylesin; âmin!

Çalışmalarım süresince birçok fedakârlıklar göstererek beni destekleyen çocuklarım Abdullahi GIWA, Abdurrahman GIWA ve Halimah GIWA'ya en derin duygularla çok çok teşekkür ederim. Allah onları ve bütün çocukları bağışlasın; âmin! Ayrıca, fedakârlık göstererek çocuklarımıza iyice dikkat ettiğinden dolayı Sayın Saidat Olanipekun GIWA'ya teşekkür ederim. Allah ondan razı olsun!

Abdulwahab GIWA
Ankara, Eylül 2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tepkimeli Damıtma Prosesi	6
1.2 Esterleşme Tepkimesi	8
1.3 Bileşenlerin Özellikleri	9
1.4 Model Öngörmeli Kontrolü.....	9
1.4.1 Model öngörmeli kontrolü genel bakışı.....	10
1.4.2 Amaç fonksiyonları	13
1.5 Ayırım (“Decoupling”)	15
1.5.1 Dinamik ayırım	15
1.5.2 Yatışkın-hal ayırımı	18
1.6 Yapay Sinir Ağları (YSA).....	18
1.6.1 Yapay sinir ağlarında öğrenme	22
1.6.2 Sorgulama	30
2. KAYNAK ÖZETLERİ	32
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	39
3.1 Materyal.....	39
3.2 Yöntem	39
3.2.1 Deney yöntemi	39
3.2.2 İşletim koşulları ve parametreleri belirlenmesi	42
3.2.3 Kuramsal modellerinin kurulması ve çözülmesi.....	45
3.2.3.1 Kuramsal modellerinin kurulması	45
3.2.3.1.1 Varsayımlar	45
3.2.3.1.2 Model geliştirme	45
3.2.3.1.2.1 Yoğunlaştırıcı bölgesi.....	45
3.2.3.1.2.2 Zenginleştirme bölgesi	46
3.2.3.1.2.3 Asetik asit besleme bölgesi.....	48
3.2.3.1.2.4 Tepkime bölgesi.....	49
3.2.3.1.2.5 Etanol besleme bölgesi	52
3.2.3.1.2.6 Sıyırma bölgesi	53
3.2.3.1.2.7 Kazan	55
3.2.3.2 Kuramsal modellerinin çözülmesi	56
3.2.4 Proses tanımlama	56
3.2.5 Yapay Sinir Ağı modelinin geliştirilmesi	57
3.2.6 Kontrol algoritmalarının oluşturulması	59
3.2.6.1 Kontrol parametrelerinin hesaplanması.....	60
3.2.6.1.1 Ayırımcıların hesaplanması	60
3.2.6.1.2 PID kontrol parametrelerinin hesaplanması.....	61
3.2.6.2 Kontrol sisteminin oluşturulması	62
3.2.6.2.1 Set noktası etkisi kontrolü	62

3.2.6.2.2 Yük etkisi kontrolü	66
3.2.7 Analiz yöntemi.....	70
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	71
4.1 Benzetim ve Optimizasyon Bulguları.....	71
4.2 Kontrol Yapısı Deneyi Bulguları	76
4.3 Kuramsal Dinamik Model Bulguları.....	86
4.4 Proses Tanımlama Bulguları.....	90
4.5 Yapay Sinir Ağı Modeli Bulguları.....	91
4.6 Kontrol Çalışması Bulguları	97
4.6.1 Teorik kontrol çalışmaları bulguları.....	98
4.6.1.1 Teorik set noktası etkisi kontrol çalışmaları bulguları.....	98
4.6.1.1.1 Teorik set noktası etkisi ayırımı MPC bulguları	98
4.6.1.1.2 Teorik set noktası etkisi ayırimsız MPC bulguları	100
4.6.1.1.3 Teorik set noktası etkisi klasik PIDC bulguları	100
4.6.1.1.4 Teorik set noktası etkisi kontrol performansları	100
4.6.1.2 Teorik yük etkisi kontrol çalışmaları bulguları	101
4.6.1.2.1 Teorik yük etkisi ayırımı MPC bulguları	101
4.6.1.2.2 Teorik yük etkisi ayırimsız MPC bulguları.....	104
4.6.1.2.3 Teorik yük etkisi klasik PIDC bulguları.....	104
4.6.1.2.4 Teorik set noktası etkisi kontrol performansları	104
4.6.2 Deneyisel kontrol çalışmaları bulguları	104
4.6.2.1 Deneyisel set noktası etkisi kontrol çalışmaları bulguları	105
4.6.2.1.1 Deneyisel set noktası etkisi ayırımı MPC bulguları.....	105
4.6.2.1.2 Deneyisel set noktası etkisi ayırimsız MPC bulguları.....	107
4.6.2.1.3 Deneyisel set noktası etkisi klasik PIDC bulguları.....	109
4.6.2.1.4 Deneyisel set noktası etkisi kontrol performansları.....	111
4.6.2.2 Deneyisel yük etkisi kontrol çalışmaları bulguları.....	112
4.6.2.2.1 Deneyisel yük etkisi ayırımı MPC bulguları.....	112
4.6.2.2.2 Deneyisel yük etkisi ayırimsız MPC bulguları	114
4.6.2.2.3 Deneyisel yük etkisi klasik PIDC bulguları	116
4.6.2.2.4 Deneyisel yük etkisi kontrol performansları	118
4.6.3 Deneyisel kontrol çalışmaları analiz bulguları	119
4.6.3.1 Deneyisel set noktası etkisi kontrol çalışmaları analiz bulguları.....	119
4.6.3.2 Deneyisel yük etkisi kontrol çalışmaları analiz bulguları	120
5. SONUÇLAR	122
KAYNAKLAR	125
EK 1 Bileşenlerin özellikleri.....	130
EK 2 Kuramsal Dinamik Model İçin Hesaplamaları	133
EK 3 Teorik Dinamik Model Çözümü İçin MATLAB Kodları.....	140
EK 4 Yapay Sinir Ağı Modelleri İçin MATLAB Kodları	151
EK 5 Teorik Kontrol Algoritması İçin MATLAB Kodları	153
EK 6 Deneyisel Kontrol Çalışması İçin Simulink Diyagramı	171
EK 7 Deneyisel Kontrol Çalışması İçin MATLAB Kodları	172
EK 8 Gaz Kromatografi - Kütle Spektrometresi Çıktıları.....	192
ÖZGEÇMİŞ.....	196

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A_c	Kolon kesit alanı (m^2)
A_{nrtl}	NRTL parametresi
b	Eğilim
b_{corr}	Kütle transfer katsayısı sabiti
B_{nrtl}	NRTL parametresi
ch	Kontrol ufku
C_{nrtl}	NRTL parametresi
C_p	Spesifik ısı kapasitesi ($J/kmol\ K$)
F	Besleme akış hızı oranı (mL/s asetik asit akış hızı/ mL/s etanol akış hızı)
F_a	Asetik asit besleme akış hızı (mL/s)
F_e	Etanol besleme akış hızı (mL/s)
F_{nrtl}	NRTL parametresi
g	Alt-iletim fonksiyonları
G_{nrtl}	NRTL parametresi
G_p	İletim fonksiyonları
H	Kolon içindeki buhar molar entalpisi ($J/kmol$)
h	Kolon içindeki sıvı molar entalpisi ($J/kmol$)
IAE	Hatanın mutlak değerleri toplamı
ISE	Hatanın kareleri toplamı
K	Denge sabiti
k	Örnekleme anı
k_b	Geri tepkime sabiti ($kmol/kg\ s$)
k_f	İleri tepkime sabiti ($kmol/kg\ s$)
k_p	Model kazancı
k_{ya}	Toplam buhar faz kütle transfer katsayısı ($kmol\ m^{-2}\ s^{-1}$)
L	Sıvı molar akış hızı ($kmol/s$)
M	Molar birikimi ($kmol$)
M'	Birim uzunluk başına molar birikimi ($kmol/m$)
m_{corr}	Kütle transfer katsayısı sabiti
n_{corr}	Kütle transfer katsayısı sabiti
P	Basınç (atm)
ph	Tahmin ufku
Q	Kazan ısısı (kJ/s)
R	Geri akma oranı ($kmol\ s^{-1}$ kolona geri akan sıvı / $kmol\ s^{-1}$ sıvı üst ürün)
r'	Tepkime hızı ($kmol/kg\ s$)
R_g	Gaz sabiti ($kJ/kmol\ K$)
r_t	Kolonun toplam tepkime hızı ($kmol/kg\ s$)
t	Zaman (s ya da dak)
T	Sıcaklık ($^{\circ}C$)
T_{alt}	Alt bölge sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_{altp}	Tahmin edilen alt bölge sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_d	Model gecikme zamanı (sn ya da dak)
T_r	İndirgenmiş sıcaklık
T_{tep}	Tepkime bölgesi sıcaklığı ($^{\circ}C$)
T_{tep_sp}	Tepkime bölgesi sıcaklığının set noktası ($^{\circ}C$)

T_{tepp}	Tahmin edilen tepkime bölgesi sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{üst}$	Üst ürün sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{üst_sp}$	Üst ürün sıcaklığının set noktası ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{üstp}$	Tahmin edilen üst ürün sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)
u	Ayrılmı kontrol edicisi girdisi
V	Buhar molar akış hızı (kmol/s)
v	Kontrol edicisi girdisi
w	Ağırlık
W	Katalizör kütlesi (kg_{cat})
x	Sıvı mol kesri (kmol/kmol)
y	Gaz mol kesri (kmol/kmol)
Y	Set noktası
$\hat{Y}$	Tahmin edilen
z	Eksenel koordinat (m)

Kısaltmalar

AcH	Asetik asit
DMPC	Ayrılmı Model Öngörmeli Kontrolü
EtAc	Etil asetat
EtOH	Etanol
MIMO	Çok Girdili - Çok Çıktılı
MPC	Ayrımsız Model Öngörmeli Kontrolü
mw	Moleküler ağırlığı (kg/kmol)
NARX	Doğrusal Olmayan Öz Bağlanımlı Tekrarlı Model
NN	Yapay Sinir Ağı
NNNARX	Yapay Sinir Ağı Doğrusal Olmayan Öz Bağlanımlı Tekrarlı Model
PIDC	Klasik Oransal-İntegral-Türevsel Kontrolü
PRBS	Yalancı Rastgele İki Seviyeli Sinyal
SQP	Ardışık Kuadratik Programlama

Yunan Harfleri

λ	Potansiyel buharlaşma ısısı (J/kmol)
ρ	Yoğunluk (kg/m^3)
α_{nrtl}	NRTL parametresi
γ	Aktivite katsayısı
ε	Hata
τ	NRTL parametresi
τ_p	Model zaman sabiti (sn ya da dak)

Alt İndisler

a	Asetik asit
av	Ortalama

b	Alt ürün
cond	Yoğunlaştırıcı
corr	Korelasyon
d	Üst ürün
e	Etanol
fa	Asetik asit beslemesi
fe	Etanol beslemesi
i	Bileşen
j	Kolon birimi
L	Sıvı faz
m	Bileşen sayısı
n	Kademe sayısı
r	Zenginleştirme
reb	Kazan
s	Sıyırma
t	Toplam
tep	Tepkime
üst	Üst ürün
V	Buhar faz

Üst İndisler

*	Denge
m	Katsayı
n	Katsayı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Bir sürekli karıştırılan tepkime kabı (CSTR)	6
Şekil 1.2	Bir dolgulu damıtma kolonu	7
Şekil 1.3	İçine CSTR sokulan dolgulu damıtma kolonu	8
Şekil 1.4	Model öngörmeli kontrolü için blok diyagramı	11
Şekil 1.5	Model öngörmeli kontrolü için temel kavramı	13
Şekil 1.6	MIMO tepkimeli dolgulu damıtma kolonu için basitleştirilmiş ayırımı	15
Şekil 1.7	İlişki kompensatörü içeren çok değişkenli kontrol sistemi	16
Şekil 1.8	Biyolojik sinir hücre yapısı	19
Şekil 1.9	Yapay sinir hücre yapısı	21
Şekil 1.10	Yapay sinir ağı modellerinde temel alınan 3 tip fonksiyon	25
Şekil 1.11	Girdi katmanı k hücreli ve saklı katmanı n hücreli bir sinir ağı	29
Şekil 3.1	Tepkimeli dolgulu damıtma kolonu deney sisteminin çizim görünüşü	40
Şekil 3.2	Tepkimeli dolgulu damıtma kolonu deney sisteminin resim görünüşü	41
Şekil 3.3	Tepkimeli dolgulu damıtma kolonunun simülasyon için HYSYS modeli	42
Şekil 3.4	Tepkimeli dolgulu damıtma kolonunun optimizasyon için HYSYS modeli	44
Şekil 3.5	Yoğunlaştırıcı birimi	45
Şekil 3.6	Zenginleştirme birimi	46
Şekil 3.7	Asetik asit besleme birimi	48
Şekil 3.8	Tepkime birimi	49
Şekil 3.9	Etanol besleme birimi	52
Şekil 3.10	Sıyırma birimi	53
Şekil 3.11	Kazan birimi	55
Şekil 3.12	Tepkimeli damıtma kolonunun doğrusal olmayan ARX modeli şekli	58
Şekil 3.13	Kontrol çalışmaları şeması	60
Şekil 3.14	Set noktası etkisi için ayırımı model öngörmeli kontrol (MPC) sistemi	63
Şekil 3.15	Set noktası etkisi için ayırımsız model öngörmeli kontrol (MPC) sistemi	64
Şekil 3.16	Set noktası etkisi için klasik geribeslemeli oransal-integral-türevsel kontrol (PIDC) sistemi	65
Şekil 3.17	Yük etkisi için ayırımı model öngörmeli kontrol (MPC) sistemi	67
Şekil 3.18	Yük etkisi için ayırımsız model öngörmeli kontrol (MPC) sistemi	68
Şekil 3.19	Yük etkisi için klasik geribeslemeli oransal-integral-türevsel kontrol (PIDC) sistemi	69
Şekil 3.20	Gaz Kromatografi-Kütle Spektrometresi (GC-MS)	70
Şekil 4.1	HYSYS tepkimeli dolgulu damıtma kolonu yatışkın hal sıcaklık profili ($R = 1$, $F = 1$ ve $Q = 0.250$ kJ/s)	71
Şekil 4.2	HYSYS tepkimeli dolgulu damıtma kolonu yatışkın hal mol kesri profili ($R = 1$, $F = 1$ ve $Q = 0.250$ kJ/s)	72
Şekil 4.3	Tepkimeli dolgulu damıtma kolonunun HYSYS optimum sıcaklık profili ($R = 2.6$, $F = 2.0$ ve $Q = 0.11$ kJ/s)	74
Şekil 4.4	Tepkimeli dolgulu damıtma kolonunun HYSYS optimum bileşim profili ($R = 2.6$, $F = 2.0$ ve $Q = 0.11$ kJ/s)	75
Şekil 4.5	Geri akma oranına 3'ten 5'e basamak etkisi verildiğinde üst ürün sıcaklığının dinamik yanıtı ($R = 3$ 'ten – 5'e basamak etkisi, $F = 1.0$ ve $Q = 0.595$ kJ/s)	77

Şekil 4.6	Geri akma oranına 3'ten 5'e basamak etkisi verildiğinde tepkime bölgesi sıcaklığının dinamik yanıtı ($R = 3$ 'ten 5 'e basamak etkisi, $F = 1.0$ ve $Q = 0.595$ kJ/s)	78
Şekil 4.7	Geri akma oranına 3'ten 5'e basamak etkisi verildiğinde alt bölge sıcaklığının dinamik yanıtı ($R = 3$ 'ten 5 'e basamak etkisi, $F = 1.0$ ve $Q = 0.595$ kJ/s)	79
Şekil 4.8	Besleme oranına 1'den 2'e basamak etkisi verildiğinde üst ürün sıcaklığının dinamik yanıtı ($R = 5$, $F = 1$ 'den 2 'ye basamak etkisi ve $Q = 0.595$ kJ/s)	80
Şekil 4.9	Besleme oranına 1'den 2'ye basamak etkisi verildiğinde tepkime bölgesi sıcaklığının dinamik yanıtı ($R = 5$, $F = 1$ 'den 2 'ye basamak etkisi ve $Q = 0.595$ kJ/s)	81
Şekil 4.10	Besleme oranına 1'den 2'ye basamak etkisi verildiğinde alt bölge sıcaklığının dinamik yanıtı ($R = 5$, $F = 1$ 'den 2 'ye basamak etkisi ve $Q = 0.595$ kJ/s)	82
Şekil 4.11	Kazan ısısına 0.595'den 0.63'e basamak etkisi verildiğinde üst ürün sıcaklığının dinamik yanıtı ($R = 5$, $F = 1$ ve $Q = 0.595$ 'ten 0.63 kJ/s basamak etkisi)	83
Şekil 4.12	Şekil 4.12 Kazan ısısına 0.595'den 0.63'e basamak etkisi verildiğinde tepkime bölgesi sıcaklığının dinamik yanıtı ($R = 5$, $F = 1$ ve $Q = 0.595$ 'ten 0.63 kJ/s basamak etkisi)	84
Şekil 4.13	Kazan ısısına 0.595'den 0.63'e basamak etkisi verildiğinde alt bölge sıcaklığının dinamik yanıtı ($R = 5$, $F = 1$ ve $Q = 0.595$ 'ten 0.63 kJ/s basamak etkisi)	85
Şekil 4.14	Yoğunlaştırıcıdaki bileşenlerin mol kesirlerinin teorik dinamik yanıtları ($R = 3$, $F = 1$ ve $Q = 0.630$ kJ/s)	86
Şekil 4.15	Kazandaki bileşenlerin mol kesirlerinin teorik dinamik yanıtları ($R = 3$, $F = 1$ ve $Q = 0.630$ kJ/s)	87
Şekil 4.16	Yatışkın hal teorik sıcaklık profili ($R = 3$, $F = 1$ ve $Q = 0.630$ kJ/s)	88
Şekil 4.17	Yatışkın hal teorik mol kesri profilleri ($R = 3$, $F = 1$ ve $Q = 0.630$ kJ/s)	89
Şekil 4.18	Üst ürün sıcaklığı yapay sinir ağı modeli için kullanılan veriler ($R =$ PRBS, 1 – 3; $F =$ PRBS, 1 – 2; $Q =$ PRBS, 0.46 – 0.630 kJ/s)	92
Şekil 4.19	Tepkime bölgesi sıcaklığı yapay sinir ağı modeli için kullanılan veriler ($R =$ PRBS, 1 – 3; $F =$ PRBS, 1 – 2; $Q =$ PRBS, 0.46 – 0.630 kJ/s)	93
Şekil 4.20	Alt bölge sıcaklığı yapay sinir ağı modeli için kullanılan veriler ($R =$ PRBS, 1 – 3; $F =$ PRBS, 1 – 2; $Q =$ PRBS, 0.46 – 0.630 kJ/s)	94
Şekil 4.21	Üst ürün için deneysel sıcaklıklar ile yapay sinir ağı ile tahmin edilen sıcaklıkların karşılaştırılması	95
Şekil 4.22	Tepkime bölgesi için deneysel sıcaklıklar ile yapay sinir ağı ile tahmin edilen sıcaklıkların karşılaştırılması	96
Şekil 4.23	Alt bölge için deneysel sıcaklıklar ile yapay sinir ağı ile tahmin edilen sıcaklıkların karşılaştırılması	97
Şekil 4.24	Teorik set noktası etkisi çalışmasında ayırmalı MPC kullanılarak üst ürün sıcaklığının kapalı döngü yanıtı ($T_{üst_sp} = 70.75$ °C)	98
Şekil 4.25	Teorik set noktası etkisi çalışmasında ayırmalı MPC kullanılarak tepkime bölgesi sıcaklığının kapalı döngü yanıtı ($T_{tep_sp} = 71.11$ °C)	99
Şekil 4.26	Teorik yük etkisi çalışmasında ayırmalı MPC kullanılarak üst ürün sıcaklığının kapalı döngü yanıtı ($Q = 0.420$ kJ/s'den 0.490 kJ/s'ye)	102

Şekil 4.27	Teorik yük etkisi çalışmasında ayırimli MPC kullanilarak tepkime bölgesi sıcaklığının kapalı döngü yanıtımı ($Q = 0.420 \text{ kJ/s'den } 0.490 \text{ kJ/s'ye}$).....	103
Şekil 4.28	Deneysel set noktası etkisi çalışmasında ayırimli MPC kullanilarak üst ürün sıcaklığının kapalı döngü yanıtımı ($T_{üst_sp} = 70.75 \text{ }^{\circ}\text{C}$).....	106
Şekil 4.29	Deneysel set noktası etkisi çalışmasında ayırimli MPC kullanilarak tepkime bölgesi sıcaklığının kapalı döngü yanıtımı ($T_{tep_sp} = 76.88 \text{ }^{\circ}\text{C}$).....	107
Şekil 4.30	Deneysel set noktası etkisi çalışmasında ayırimsiz MPC kullanilarak üst ürün sıcaklığının kapalı döngü yanıtımı ($T_{üst_sp} = 70.75 \text{ }^{\circ}\text{C}$).....	108
Şekil 4.31	Deneysel set noktası etkisi çalışmasında ayırimsiz MPC kullanilarak tepkime bölgesi sıcaklığının kapalı döngü yanıtımı ($T_{tep_sp} = 76.88 \text{ }^{\circ}\text{C}$).....	109
Şekil 4.32	Deneysel set noktası etkisi çalışmasında klasik PIDC kullanilarak üst ürün sıcaklığının kapalı döngü yanıtımı ($T_{üst_sp} = 70.75 \text{ }^{\circ}\text{C}$).....	110
Şekil 4.33	Deneysel set noktası etkisi çalışmasında klasik PIDC kullanilarak tepkime bölgesi sıcaklığının kapalı döngü yanıtımı ($T_{tep_sp} = 76.88 \text{ }^{\circ}\text{C}$).....	111
Şekil 4.34	Deneysel yük etkisi çalışmasında ayırimli MPC kullanilarak üst ürün sıcaklığının kapalı döngü yanıtımı ($Q = 0.420 \text{ kJ/s'den } 0.490 \text{ kJ/s'ye}$).....	113
Şekil 4.35	Deneysel yük etkisi çalışmasında ayırimli MPC kullanilarak tepkime bölgesi sıcaklığının kapalı döngü yanıtımı ($Q = 0.420 \text{ kJ/s'den } 0.490 \text{ kJ/s'ye}$).....	114
Şekil 4.36	Deneysel yük etkisi çalışmasında ayırimsiz MPC kullanilarak üst ürün sıcaklığının kapalı döngü yanıtımı ($Q = 0.420 \text{ kJ/s'den } 0.490 \text{ kJ/s'ye}$).....	115
Şekil 4.37	Deneysel yük etkisi çalışmasında ayırimsiz MPC kullanilarak tepkime bölgesi sıcaklığının kapalı döngü yanıtımı($Q = 0.420 \text{ kJ/s'den } 0.490 \text{ kJ/s'ye}$).....	116
Şekil 4.38	Deneysel yük etkisi çalışmasında klasik PIDC kullanilarak üst ürün sıcaklığının kapalı döngü yanıtımı ($Q = 0.420 \text{ kJ/s'den } 0.490 \text{ kJ/s'ye}$).....	117
Şekil 4.39	Deneysel yük etkisi çalışmasında klasik PIDC kullanilarak tepkime bölgesi sıcaklığının kapalı döngü yanıtımı ($Q = 0.420 \text{ kJ/s'den } 0.490 \text{ kJ/s'ye}$).....	118

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1	Bileşenlerin temel özellikleri	9
Çizelge 3.1	HYSYS benzetim parametreleri	43
Çizelge 3.2	Optimizasyon Parametreleri	44
Çizelge 3.3	Proses tanımlama deneyinin koşulları	57
Çizelge 3.4	Yapay sinir ağı deneyi için deney koşulları.....	58
Çizelge 3.5	Yapay sinir ağı modeli formülleştirme parametreleri.....	59
Çizelge 3.6	PID kontrol parametreleri hesaplama förmülleri.....	61
Çizelge 4.1	HYSYS benzetimi ve deney sıcaklıklarının karşılaştırılması	72
Çizelge 4.2	Yatışkın hal değerleri ve optimum değerler	73
Çizelge 4.3	HYSYS optimizasyonu ve deney sıcaklıklarının karşılaştırılması	76
Çizelge 4.4	Deneysel ve teorik sıcaklıkların karşılaştırılması	90
Çizelge 4.5	Proses iletim fonksiyonu parametreleri	91
Çizelge 4.6	Teorik set noktası etkisi kontrol çalışmaları için performans değerleri.....	100
Çizelge 4.7	Teorik yük etkisi kontrol çalışmaları için performans değerleri.....	104
Çizelge 4.8	Deneysel set noktası etkisi kontrol çalışmaları için performans değerleri	112
Çizelge 4.9	Deneysel yük etkisi kontrol çalışmaları için performans değerleri	119
Çizelge 4.10	Deneysel set noktası etkisi çalışmaları için bileşenlerin mol kesirleri ..	119
Çizelge 4.11	Deneysel set noktası etkisi çalışmaları için bileşenlerin kütle kesirleri.....	120
Çizelge 4.12	Deneysel set noktası etkisi çalışmaları için bileşenlerin hacim kesirleri	120
Çizelge 4.13	Deneysel yük etkisi çalışmaları için bileşenlerin mol kesirleri	120
Çizelge 4.14	Deneysel yük etkisi çalışmaları için bileşenlerin kütle kesirleri.....	121
Çizelge 4.15	Deneysel yük etkisi çalışmaları için bileşenlerin hacim kesirleri.....	121

1. GİRİŞ

Tepkimeli damıtma, hem endüstriyel hem de bilimsel alanda gün geçtikçe daha çok ilgi uyandırmaktadır (Klöker vd. 2005). Esterler kimya sektöründe geniş kullanım alanına sahiptirler. Hammadde olarak çeşitli proseslerde kullanılmaktadır. Etil asetat geniş kullanım alanına sahip ve endüstriyel önem taşıyan esterlerin başında gelmektedir. Esterleşme reaksiyonları dengenin sınırladığı reaksiyonlardır ve reaksiyon sonrasında bir dizi ayırma işlemine tabi tutulmaları gerekmektedir. Tepkimeli damıtma ile bu problem ortadan kalkmaktadır. Kimyasal reaksiyonun ve ayırma işleminin tek bir birimde toplanması dengeyi ürünler yönüne kaydırarak dönüşümü ve ürün seçiciliğini arttırmaktadır. Bir cihazda reaksiyon ve damıtmanın birlikte entegrasyonu, esterleşme ve eterleşme gibi özellikle denge sınırlamalı reaksiyonlarda önemli ekonomik avantajlar sağlamaktadır. Diğer bir avantajı ise, ekzotermik tepkimeli prosesler için reaksiyon ısısı sıvı bileşenlerin buharlaştırılması için kullanıldığından ilave bir ısıya gereksinim duyulmadığı için enerji tasarrufu da sağlamaktadır (Lai vd. 2008).

Tepkimeli damıtma prosesin yapısını değerlendirebilmek için elverişli bir durumdur. Prosesle ilgili temel işlemler birlikte yapılabilirse, damıtma ve reaksiyon işlemlerinin de birlikte yapılabilmesi mümkündür. Başka bir deyişle, reaksiyonda dönüşüm için gerekli sıcaklık ve basınç koşulları damıtma ile uyumlu olmalıdır. Böylece reaksiyon ve damıtma birlikte yürüyebilir. Tepkimeli damıtmada karşılaşılan zorluklar, damıtmanın sürekli dengenin yönünü değiştirmesinden kaynaklanmaktadır. Dikkatli proses mühendisleri yüksek saflık ve verim elde etmek amacıyla deneyler yapmaktadırlar. Ancak deneylerde reaksiyon ve kütle aktarımı birbirini etkilemektedir. Eğer ayırma prosesi bu reaksiyonla aynı anda yürürse, ürünler olan ester ve düşük ve yüksek sıcaklıkta kaynayanlar olarak sırasıyla ayrılır. Ancak ürünlerin uzaklaştırılması ileri yönde reaksiyonu hızlandırır. Sıcaklığı yükselterek veya katalizör miktarını artırarak ileri yönde reaksiyonun hızlandırılması halinde derişimin değişmesini engellemek için ürünler hızlıca uzaklaştırılmalıdır (Linang vd. 1996). Geri yönde reaksiyonun dönüşüme katkısı çok az hale gelir ve dönüşüm sadece alıkonma süresi ve reaksiyon hız sabitinin fonksiyonu olan ileri yönde reaksiyondan etkilenir. İleri yöndeki reaksiyona ise reaksiyon sıcaklığının etkisi vardır. Böylece iki çalışma şartı ayırt edilebilir: birincisi dönüşümün, ayrılan bileşenlerin derişiminden etkilendiği aralık, bu aralığa “damıtma ile

denetim“ denir; ikincisi ise dönüşümün, alıkonma süresi ve reaksiyon sabitinden etkilendiği aralık ki bu aralığa ise “kinetik ile denetim“ denir (Saito vd. 1971).

Bu çalışmanın amaçlarından biri de etanolün etil asetata dönüşüm oranını artırmak ve yüksek saflıkta etil asetat üretimini gerçekleştirmektir. “Damıtma ile denetim” için üst ürün sıcaklığı geri akma oranı ayarlanarak, “ kinetik ile denetim” için ise reaksiyon bölgesinin sıcaklığı kolona beslenen asetik asit akış hızı ayarlanarak yapılmıştır. Literatürden elde edilen verilere göre etil asetat prosesinde dört farklı sıcaklıkta dört farklı azeotrop karışım elde etme durumu vardır (Klöker vd. 2005). Her birinde etil asetat derişimleri farklıdır. Dolayısıyla istenilen derişimde etil asetat üretimi çok zordur. Şimdiye kadarki literatür çalışmalarında bu azeotrop noktalar göz önünde bulundurularak yüksek saflıkta etil asetat üretimi için denetim çalışmaları yapılmamıştır. Bu çalışma ile tepkimeli damıtma kolonunun üst üründe oluşabilecek azeotrop karışımların içinde en yüksek saflıkta etil asetat üretimi, etil asetat-su azeotrop noktası için üst ürün sıcaklığını sabit tutacak şekilde denetim yapılmıştır.

Literatürde tepkimeli dolgulu damıtma kolonunu kullanarak etil asetat üretimi ile ilgili çalışmalar çok kısıtlıdır. Calvar vd. (2007)’nin çalışmalarında tepkimeli dolgulu damıtma kolonunu kullanmışlardır. En yüksek etil asetat derişimini molce 0.552 (ağırlıkça %70) olarak bulmuşlardır. Çalışmalarında Multiknit dolgu malzemesini kullanmışlardır. Tepkimeli kademeli damıtma kolonunda üretilen etil asetat derişimi dolgulu kolonda üretilene göre daha düşük derişimde olmuştur. Bu ise dolgulu kolonların daha etkin olduğunu göstermektedir. Ayrıca, Calvar vd. (2007) yapmış oldukları çalışmalarında herhangi bir kontrol sistemi kullanmamışlardır. Fakat daha saf ürün elde etmek için uygun bir denetim algoritması kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir. Bizim yapacağımız araştırmada iki özgün yaklaşım yapılmaktadır. Bunlardan birincisi Calvar vd. (2007)’nin kullandıkları tepkimeli dolgulu damıtma kolonundan daha farklı dolgu maddesi (raschig halkası) içeren kolon kullanılmıştır. Bu tepkimeli dolgulu damıtma sisteminin yapay sinir ağları temelinde ayırmalı denetim algoritması yardımıyla yüksek saflıkta etil asetat elde edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada sistemin kritik parametrelerinden biri olan reaksiyon sıcaklığı reaksiyon bölgesindeki kalma süresini dolayısıyla dönüşüm oranını etkilediğinden reaksiyon bölgesinin sıcaklığının denetimi gereklidir. Bu yüzden kolonun denetimi için birinci

denetlenen değişken olarak reaksiyon sıcaklığı seçilmiştir. Cavlar vd. (2007) yapmış oldukları çalışmalarında kolona beslenen asetik asit/etanol oranı artırıldığında dönüşüm oranının da arttığı görülmüştür. En yüksek girdi oranı 1.6 ve reaksiyon sıcaklığı 353 K olduğunda, en yüksek dönüşüm oranını 0.55 elde etmişlerdir. Fakat bu işletim parametrelerinde çalışmak girdide asetik asidin fazla harcanmasından ve kazana verilen ısının yüksek olmasından dolayı işletim maliyetini artırdığından ekonomik değildir. Dolayısıyla minimum girdi maliyetiyle etil asetata dönüşüm oranını artırmak için reaksiyon bölgesinin sıcaklığının denetiminin yapılması ve ayarlanabilen değişken olarak girdideki asetik asit akış hızının seçilmesi ile denetiminin yapılmasının önemi ortaya çıkmaktadır. Bundan dolayı çalışmamızda birinci denetim çifti olarak reaksiyon bölgesi sıcaklığı ve beslemedeki asetik asit akış hızı seçilmiştir. Üst ürün derişimini geri akma oranı en çok etkilediğinden dolayı ayarlanabilen değişken olarak geri akma oranı seçilmiştir. Bundan dolayı çalışmamızda ikinci kontrol çifti olarak üst ürün sıcaklığı ve geri akma oranı seçilmiştir.

Literatürden elde edilen bilgilerin ışığı altında tepkimeli damıtma kolonunda geri akma oranı değişiminin üst üründe elde edilecek olan asetat derişimine olan etkisi bilinmektedir. Cavlar vd. (2007)'de yapmış oldukları çalışmada geri akma oranını 4-9 arasında seçtiklerinde ürün derişiminin oldukça etkilendiğini görmüşlerdir. Geri akma oranını 9 seçtiklerinde üst üründe elde ettikleri en yüksek etil asetat derişimi molce 0.552 (ağırlıkça %70)'dir. 343.75 K sıcaklıkta üst üründe maksimum elde edilebilecek etil asetat derişimi etil asetat-su azeotrop karışımı için molce 0.69 (ağırlıkça %91.3)'dur. Dolayısıyla bu yüksek derişimde ürün elde etmek için üst ürün sıcaklığının 343.75 K'de tutulması gerekir. Denetim yapmadan üst ürün sıcaklığını bu değerde tutmak zordur çünkü sistemde hem reaksiyon hem de kütle aktarımı olduğundan etkileşim söz konusudur. Bu etkileşim sonucu olarak sıcaklık değişecektir. Sıcaklığın değişmesi ise dolaylı olarak üst ürün derişiminin de değişmesine sebep olacaktır. Son yıllarda verilen literatür araştırmalarında da görüldüğü gibi tepkimeli dolgulu damıtma kolonunda etil asetat üretim prosesinin Yapay Sinir Ağları kullanılarak ayırmalı denetimi yapılmamıştır. 2008 yılında yayınlanan Kumar ve Kaistha'nın yapmış oldukları çalışmada ideal bir tepkimeli damıtma kolonunun 2 ve 3 denetim çifti kullanarak çok değişkenli denetimini yapmışlardır. Ayrıca kolonda reaksiyon ve ayırma arasında güçlü bir etkileşimin olduğunu bağıl kazanç matrislerini (RGA) hesaplayarak belirtmişlerdir.

Bu etkileşim güçlü olduğundan tepkimeli damıtma kolonlarının ayırmalı denetiminin yapılması gerektiğini önermişlerdir. Ayrıca yine 2008 yılında, Venkateswarlu ve Reddy tepkimeli damıtma kolonu kontrolü için stokastik optimizasyon esaslı doğrusal olmayan öngörmeli kontrolü yapmışlar. 2009’da Jana ve Adari etil asetat üretmek için, bir tepkimeli damıtma kolonuna uyarlanabilir kontrol uygulamışlar. Bahar ve Özgen (2010) tepkimeli kesikli bir kademeli damıtma kolonunun ürün bileşimlerinin kontrolü amacı ile bir Yapay Sinir Ağı tahmin edici tasarlamışlardır. Bu literatür çalışmalarının ışığı altında kolonda hem reaksiyon hem de kütle aktarımı söz konusu olduğundan, reaksiyondaki dönüşüm oranı ve üst üründeki etil asetat derişimi bundan çok etkilenmektedir. Bu etkileşimi yok etmek için ayırmalı denetim yapılması gerekir. Böylece sanayi için çok önemli olan minimum girdi maliyetinde yüksek saflıkta etil asetat üretilmiştir. Ayırmalı da kullanılacak denetim algoritmaları olarak sanayide de çok kullanılan klasik geribeslemeli PID ve günümüzde daha modern olan Yapay Sinir Ağları temelinde model öngörmeli denetim kullanılmıştır. Elde edilen denetim sonuçları karşılaştırılarak en etkin kontrol yapısı oluşturulmuştur.

Sonuç olarak, Kawathekar vd. (2007) tepkimeli kademeli damıtma kolonu kullanılarak denetim altındaki etil asetat üretiminin yapıldığı sistemde molce 0.55 (ağırlıkça %70) saflıkta etil asetat elde etmişlerdir. Bunun yanında Kumar ve Kaistha (2008)’in yapmış oldukları çalışmada; tepkimeli kademeli damıtma kolonu yerine tepkimeli dolgulu damıtma kolonu kullanıldığında ağırlıkça %70 saflığın üzerine çıkılabileceğini belirtmişlerdir. Bunun için dolgulu damıtma kolonunda daha saf ürün elde edileceği beklenilmektedir. Ancak kolonun tepkime kabıyla birlikte kullanılması damıtma ve reaksiyon etkileşiminin olmasına sebep olmaktadır Bu ise istenilen saflıkta ürün almayı engellemektedir. Kumar ve Kaistha (2008)’in tepkimeli damıtma kolonundaki bu problemin ancak ayırmalı denetim ile giderilerek istenilen saflıkta ürün elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Bu bilgilerin ışığı altında önerilen çalışmada etil asetat üretimi için tepkimeli dolgulu damıtma kolonu kullanılarak ürün saflığında bir gelişme gözlenmiştir. Daha sonra YSA temelinde ayırmalı denetim yapılarak üst üründen yüksek saflıkta etil asetat elde edilmeye çalışılmıştır.

Tepkimeli damıtma ile etil asetat sentezi gibi kompleks ayırma proseslerinin araştırılması için zamanı azaltmak ve istenilen dönüşümde ürün elde etmek için prosesin

denetimi şarttır. Tepkimeli damıtma kolonunun denetimi, kimyasal reaksiyonlar ve buhar-sıvı dengesi arasındaki karmaşık etkileşimler ve prosesin doğrusal olmamasından dolayı zordur. Bu tür proseslerin kontrolü için doğrusal olmayan model yapılarının geliştirilmesi önem arz etmektedir. Yapay Sinir Ağları (YSA), özellikle girdi-çıkı bilgileri göstermede, zaman sürecinde tahminler yapmada, verileri ayırmada örnekleri tanımda faydalı, doğrusal olmayan bir model olarak düşünülebilir. YSA'nın geniş bir uygulama alanı bulmasındaki başlıca nedenler, onun yeni bilgileri öğrenerek girdiler ve çıktılar arasındaki yapıyı geliştiren öğrenme yeteneği, doğrusal olmayan fonksiyonlara da uygulanabilmesi, oldukça esnek bir model yapısına sahip olması, girdiler ve çıktılar arasında yapısal bir ilişkiye gereksinim olmaması ve çok değişkenli sistemlerde kullanılabilmesidir. Bu bakımdan geliştirilecek olan YSA modeli model öngörmeli kontrol algoritmasında kullanılmıştır. Böylece Yapay Sinir Ağı modelinin temelini oluşturacak veriler elde edilmiştir. Geliştirilen model ile kolonun çok değişkenli ayırmalı tasarımı ve model öngörmeli denetim algoritmasına uygulanmıştır. Etanolün etil asetata dönüşümü yükseltmek ve kolonun üst ürününde azeotrop karışımdan elde edilecek yüksek saflıkta etil asetat üretimi için kolonun üst ürün sıcaklığı da denetlenmiştir.

Bu amaçla, çalışma çerçevesinde,

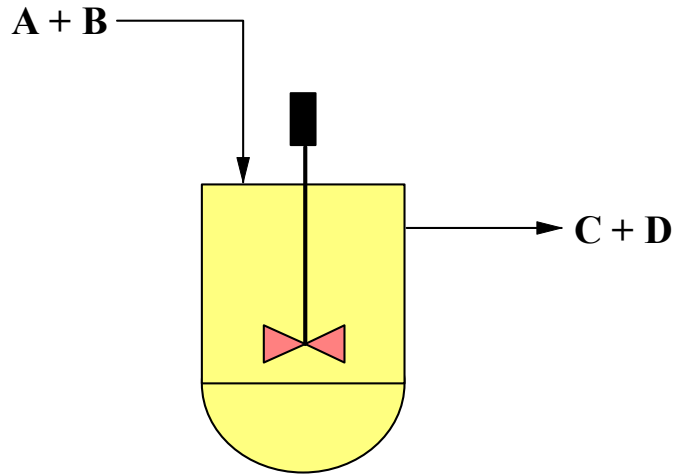
- i. Şimdiye kadar bölümümüz laboratuvarlarında var olmayan tepkimeli damıtma kolonu sistemi bölümümüz temel işlemler laboratuvarına kurulmuştur.
- ii. Tepkimeli damıtma kolonunun işletim koşulları ve parametreleri belirlenmiştir.
- iii. Proses için kütle ve enerji denklilikleri kurularak model eşitlikleri türetilmiştir. Elde edilen model eşitlikleri sayısal olarak MATLAB ortamında çözülmüştür.
- iv. Prosesin dinamik özellikleri belirlenecek, işletim şartlarının doğrusal değişmediği dikkate alınarak proses modeli ortaya konulacak ve prosesin Yapay Sinir Ağı modeli de geliştirilmiştir.
- v. Geliştirilen Yapay Sinir Ağı modeli sistemde kontrol amaçlı kullanılmıştır. Böylece literatürde şimdiye kadar yapılmamış bir çalışma olan, etanolün etil asetata dönüşüm oranını artırmak ve yüksek saflıkta etil asetat üretmek amacıyla reaksiyon bölgesinin ve üst ürün sıcaklığı model öngörmeli denetim algoritması kullanılarak ayırmalı olarak yapılmış ve sonuçları ayırimsız model öngörmeli ve klasik geri-beslemeli PID kontroller ile karşılaştırılmıştır.

1.1 Tepkimeli Damıtma Prosesi

Kimya mühendisliği, kimya, matematik, fizik, ve ekonomi bilimlerini kullanarak önemli çevresel problemleri çözümlen bir mühendislik dalıdır. Bunu başarabilmek için reaktör, damıtma kolonu gibi ekipmanlar kullanılmaktadır.

Genellikle tepkimeler reaktörler içinde gerçekleştirilmektedir. Tepkime gerçekleştirildikten sonra, birden fazla ürün olduğu durumda, ürünlerin özellikle istenilen ürünün saflaştırılması gerekir. Bu saflaştırma işlemi normalde damıtma, kristalizasyon, ekstraksiyon, absorpsiyon, vb. birimler kullanılarak yapılmaktadır.

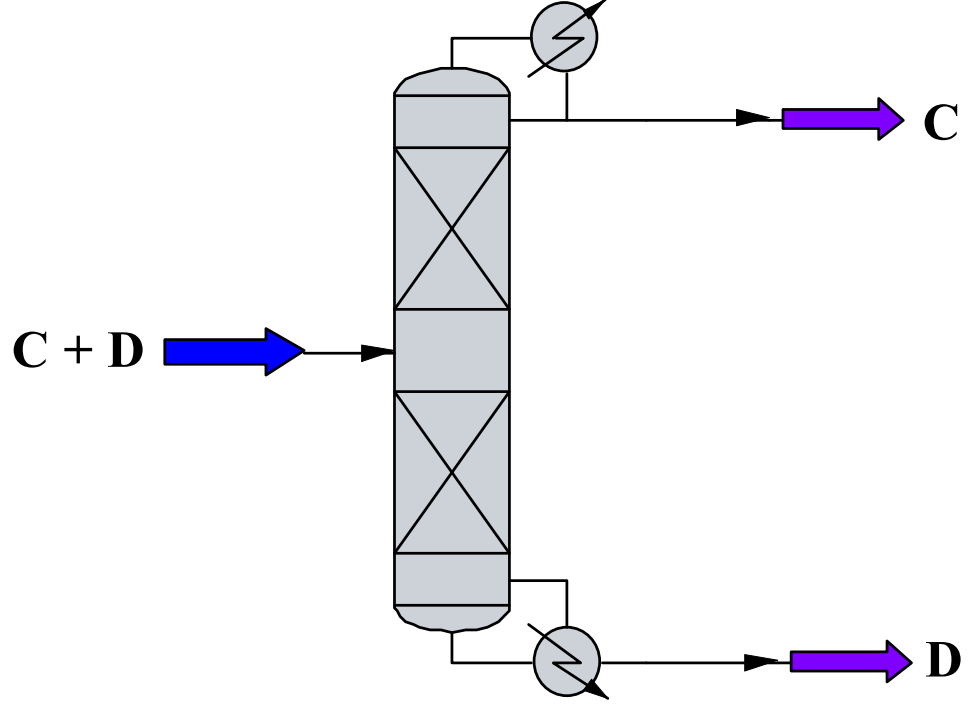
Bu çalışma ile ilgili esterleşme prosesi için, normalde kullanılan reaktör aşağıdaki gösterilen şekil 1.1’de sürekli karıştırılan tepkime kabı (CSTR) 'dir. A ve B besleme olarak ve C ve D çıkış olarak kabul edilirse, CSTR’nin içinde gerçekleşen denge tepkimesi şöyle verilebilir:



Şekil 1.1 Bir sürekli karıştırılan tepkime kabı (CSTR)

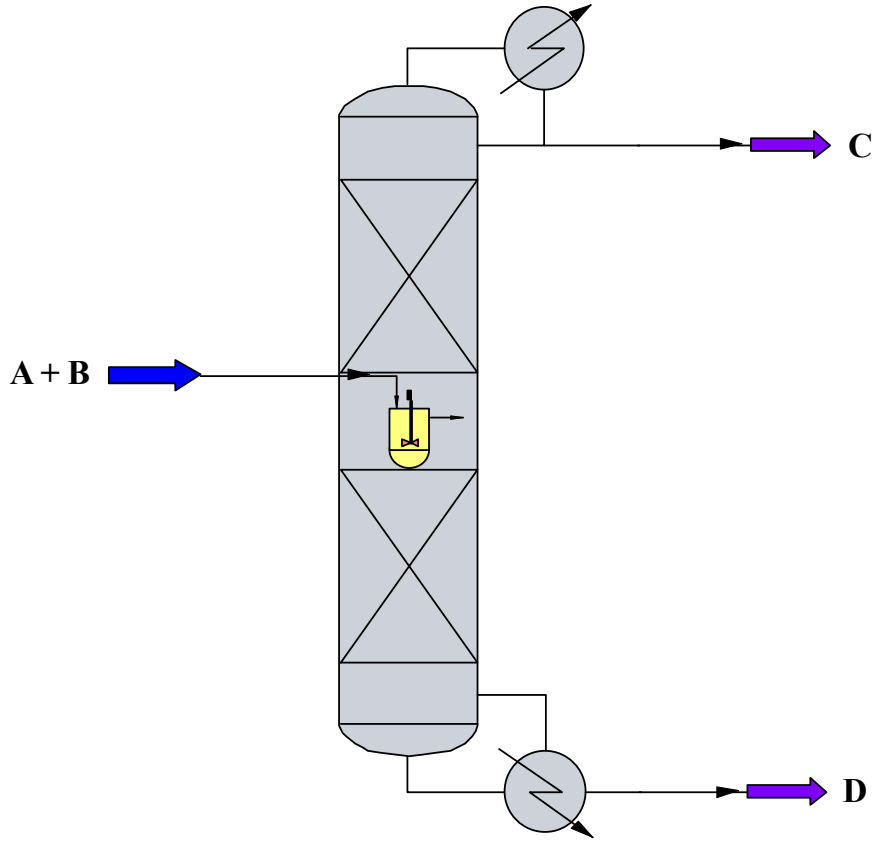
Saflaştırma aşamasında reaktörden çıkan ürünler damıtma kolonuna gönderilmektedir. Damıtma kolonunda, hafif bileşenleri ayırmak için kolonun üst bölümü kullanılmaktadır. Aynı şekilde, ağır olanları ayırmak için alt bölüm ile yapılmaktadır.

Kullanılan damıtma kolonu tipi dolgu maddesi içerirse, “Dolgulu Damıtma Kolonu” denir.



Şekil 1.2 Bir dolgulu damıtma kolonu

Aslında, tepkimeli damıtma kolonu, normal damıtma kolonunun içine bir reaktörün sokulması düşünebilir (Şekil 1.3) ve reaktörden çıkan ürünler otomatik olarak kolonun ayırma bölümüne geçirilip ayrılmaktadır.



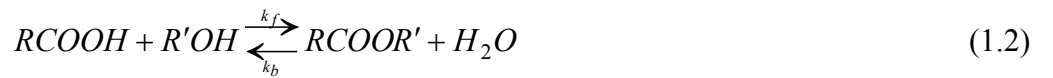
Şekil 1.3 İçine CSTR sokulan dolgulu damıtma kolonu

Gerçek anlamda, olay bir reaktörün sokulması değil; ancak, şekil 1.3’de gösterildiği gibi, damıtma kolonunun bir bölgesinin reaktör olarak kullanılmasıdır.

Literatüre göre, tepkimeli damıtma proses uygulanabilecek proseslerden biri esterleşme prosesidir.

1.2 Esterleşme Tepkimesi

Esterleşme, $R-COOR'$ kimyasal yapısı olan esterleri üretmek için bir prosesdir. Burada, R ve R' ya alkil ya da aril grubudur (Poss, 2011). Böylece, esterleşme tepkimesi şöyle verilebilir.



Esterleşme tepkimesi oldukça dengeli bir tepkimedir ve katalizör olmadığı zaman bayağı yavaş bir tepkimedir.

1.3 Bileşenlerin Özellikleri

Bu çalışmanın prosesi (esterleşme tepkimesi) olduğuna göre ve etil asetat üretim yapılacağına göre, ilgilenen bileşenler yukarıda gösterildiği gibi asetik asit, etanol, etil asetat ve su'dur. Bu bileşenlerin bazı fiziksel özellikleri çizelge 1.1'de verilmektedir. Özelliklerin detayları EK 1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1 Bileşenlerin temel özellikleri (Aspen 2003)

Özellik	Asetik asit	Etanol	Etil asetat	Su
Molekül formülü	CH ₃ COOH	C ₂ H ₅ OH	CH ₃ COOC ₂ H ₅	H ₂ O
Molekül ağırlığı (kg/kmol)	60.05	46.07	88.11	18.02
Kaynama noktası (°C)	117.95	78.25	77.15	100
Yoğunluk (kg/m ³)	1051.5	795.98	904.86	997.99

Yukarıdaki özelliklerden tepkimeli damıtma için en önemli olan kaynama noktasıdır. Çünkü tepkimeli damıtma prosesin gerçekleştirilebilmesi için prosesin bileşenlerinden istenilen ürünün kaynama noktası en yüksek ya da en düşük olmalıdır. Çizelge 1.1'de görüldüğü üzere, prosesin bileşenlerinden en düşük kaynama noktası olan etil asetatır. O zaman, bu proses için tepkimeli damıtma uygun diyebiliriz.

1.4 Model Öngörmeli Kontrolü

Model öngörmeli kontrol (MPC), zor olan çok değişkenli kontrol problemleri için önemli bir ileri kontrol tekniğidir. MPC temel kavramı şöyle özetlenebilir. Bir çoklu-giriş çoklu-çıkış prosesinde, girdi ve çıktı değişkenleri eşitsizlik kısıtlamaları tahmin ederken, kontrol edilebilir olması gerektiği varsayılırsa, prosesin makul doğru dinamik modeli mevcut olduğunda, çıktıların gelecek değerlerini tahmin etmek için model ve şimdiki ölçümleri kullanılabilir. Girdi değişkenlerinde uygun değişiklikler hem tahminlere hem de ölçümlere dayalı hesaplanabilir. Özünde, her girdi değişkenlerinin değişiklikleri proses modeli ile temsil edilen girdi-çıkış ilişkileri dikkate alındıktan sonra koordine edilmektedir. MPC uygulamalarında, çıkış değişkenleri, kontrol değişkenleri olarak ve girdi değişkenleri ayarlanabilen değişkenler olarak adlandırılır. Ölçülebilen

bozucu değişkenleri de yük etkisi ya da ileri-beslemeli değişkenler olarak adlandırılmaktadır.

Model öngörmeli kontrolünün birçok önemli avantajı vardır:

- 1) Proses modeli giriş, çıkış ve bozucu değişkenleri arasındaki dinamik ve statik etkileşimleri yakalamaktadır.
- 2) Giriş ve çıkışlar ile ilgili kısıtlamalar sistematik bir şekilde dikkate alınmaktadır.
- 3) Kontrol hesaplamalar optimum set noktalarının hesaplanması ile koordine edilebilmektedir, ve
- 4) Doğru model tahminleri potansiyel sorunların erken uyarı sağlayabilmektedir.

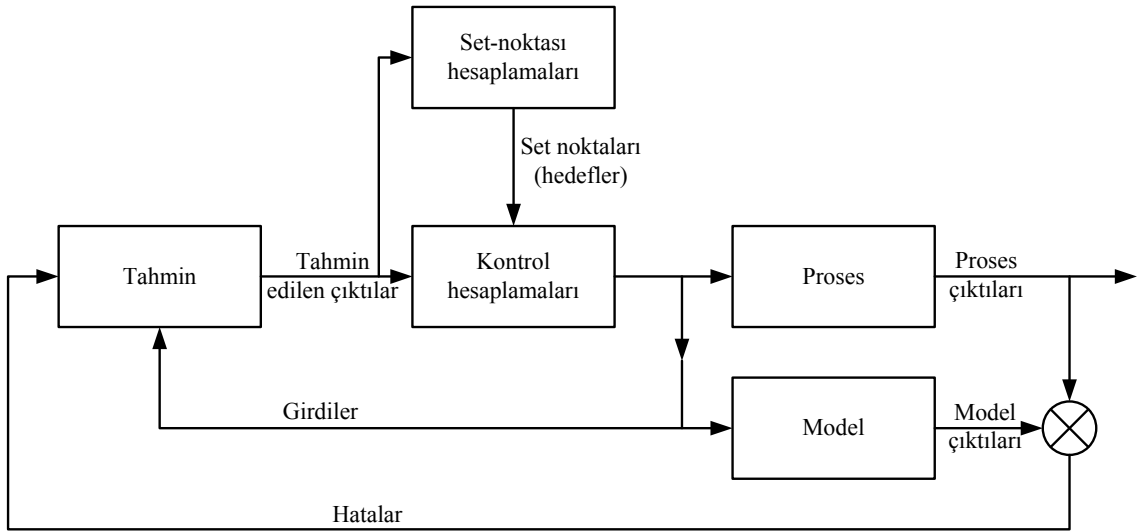
İlk nesil MPC sistemleri, iki öncü sanayi araştırma grubu tarafından 1970'lerde bağımsız olarak geliştirilmiştir, Shell Oil (Cutler ve Ramaker 1980), tarafından geliştirilen Dinamik Matris Kontrol (DMC), ve ADERSA (Richalet vd. 1978) tarafından geliştirilen ilgili bir yaklaşım, oldukça benzer yeteneklere sahiptir. Bir uyarlanabilir MPC tekniğini, Clarke vd. (1987) tarafından geliştirilen Genelleştirilmiş Öngörölü Kontrol (GPC) de önemli bir ilgi gördü. Model öngörmeli kontrol, başta petrol rafinerisi ve petrokimya tesislerinde olmak üzere 1999 yılının sonunda dünya çapında 4500'ün üzerindeki uygulamalarda büyük etkisi olmuştur. Bu sektörlerde, MPC eşitsizlik kısıtlamaları dahil çok zor değişkenli kontrol sorunları için seçilecek yöntem haline gelmiştir. Dikkate değer bir başarı açısından, MPC akademik ve endüstriyel araştırma için popüler bir konu olmuştur. Erken MPC metodolojinin önemli uzantıları geliştirilmiştir ve kuramsal analizi MPC'nin güçlü ve zayıf yönleri hakkında fikir vermiştir.

1.4.1 Model öngörmeli kontrolü genel bakışı

MPC genel hedefleri Qin ve Badgwell (2003) tarafından özetlenmiştir:

- i. Girdi ve çıktı kısıtlamalarının ihlal edilmesinin önlenmesi;
- ii. Diğer çıktılar belirtilen sınırlar içinde korunurken, optimal set noktalarına bazı çıktı değişkenleri götürölmesi;
- iii. Girdi değişkenlerinin aşırı hareket etmesinin önlenmesi;
- iv. Bir sensör veya aktuatör mevcut olmadığında, mümkün olduğu kadar proses değişkenlerinin kontrol edilmesi.

Bir model öngörmeli kontrol sisteminin blok diyagramı şekil 1.4’te görülmektedir. Bir proses modeli çıkış değişkeninin şimdiki değerlerini tahmin etmek için kullanılmaktadır. Hatalar, gerçek ve tahmin edilen çıkışlar arasındaki farklar, bir tahmin blokuna giren sinyal olarak kullanılmaktadır. Tahminler, her örnekleme anında yapılan set noktası ve kontrol hesaplamaları için iki tür MPC hesaplamalarında kullanılmaktadır. Girdi ve çıktı değişkenleri üzerine yapılan kısıtlamalar, alt ve üst sınırlar olarak, hesaplamaların her iki türüne dahil edilebilir. MPC konfigürasyonunun iç model kontrol konfigürasyonuna ve Smith belirleyicisi konfigürasyonuna benzer olduğu söylenebilir. Model, proses ile paralel olarak hareket eder ve hata, bir geribesleme sinyal olarak kullanılmaktadır. Ancak, kontrol ve set-noktası hesaplamaları MPC’nin eşsiz bir özelliğidir. Ayrıca, MPC, IMC veya Smith belirleyicisi endüstriyel uygulama üzerinde daha büyük etkisi olmuştur çünkü kısıtlı MIMO kontrol problemleri için daha uygundur.



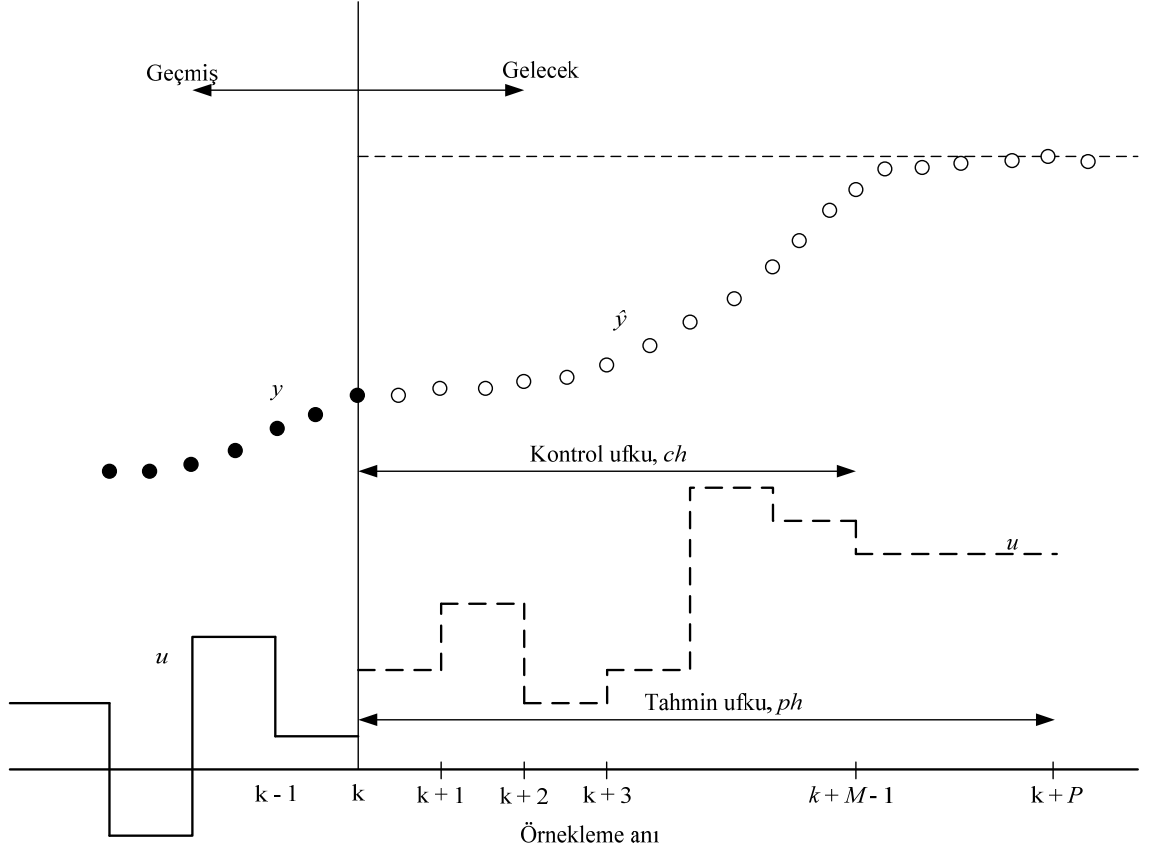
Şekil 1.4 Model öngörmeli kontrolü için blok diyagramı

Kontrol hesaplamalar için set noktaları, *hedefler* olarak da adlandırılan, prosesin yatışkın hal modeline dayalı bir ekonomik optimizasyon hesaplanmaktadır, geleneksel olarak, doğrusal bir modeldir. Tipik optimizasyonu amaçları, bir kâr fonksiyonu maksimize, bir maliyet fonksiyonu minimize ya da bir üretim hızını maksimize içerir. Set noktaları optimum değerleri, proses şartları değişimi nedeniyle sık sık değiştirilir, özellikle eşitsizlik kısıtlamalarında bu değişiklikler daha belirgindir. Kısıtlama değişiklikleri, ekipman ve cihazların yanı sıra fiyatlar ve maliyetler gibi ekonomik

verilere dayalı proses şartlarındaki değişikliklerden kaynaklanmaktadır, MPC'de, kontrol hesaplamaları her yapıldığında set noktaları tipik olarak hesaplanmaktadır.

Kontrol hesaplamaları, çıktıların gelecek değerlerinin şimdiki ölçümlerine ve tahminlerine dayalıdır. Tahminler, dinamik bir model kullanılarak yapılmaktadır, tipik olarak doğrusal bir deneysel model, basamak yanıtı modelinin çok değişkenli bir versiyonudur. Alternatif olarak, iletim fonksiyonu veya durum-uzay modelleri uygulanabilir. Çok doğrusal olmayan prosesler için, bir doğrusal olmayan dinamik modeli kullanılarak gelecek çıktı değerlerini tahmin etmek için avantajlı olabilir. Hem fiziksel modeller hem de ampirik modeller, sinir ağları gibi, doğrusal olmayan MPC'de kullanılmıştır (Allgöwer vd. 1999, Badgwell ve Qin 2001).

MPC hesaplamalarının amacı *kontrol hamlesi* sırasını belirlemektir (yani, ayarlanabilen girdi değişkenleri) ve böylece tahmin edilen yanıt optimal bir şekilde set noktasına yaklaşır. Gerçek çıktı y , tahmin edilen çıktı $\hat{y}$ ve ayarlanabilen girdi u olmak üzere şekil 1.5'te bu durum gösterilmiştir. Geçerli örnekleme anında, k ile gösterilen, MPC stratejisi girdi ch değerlerinin bir dizisi $\{u(k + i - 1), i = 1, 2, \dots, ch\}$ 'ni hesaplamaktadır. Dizi, şimdiki girdi $u(k)$ ve $(ch - 1)$ gelecek girdilerden oluşmaktadır. Girdi, ch kontrol hamlesinden sonra sabit tutulur. Girdiler, P dizisi çıktılar $\{\hat{y}(k + i), i = 1, 2, \dots, ph\}$ set noktasına optimal bir şekilde ulaşacak kadar hesaplanmaktadır. ph tahminlerinin numarası *tahmin ufku* olarak anılmaktadır ve ch kontrol hamlesinin numarası *kontrol ufku* olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 1.5 Model öngörmeli kontrolü için temel kavramı

MPC'nin bir seçkin özelliği *basık ufuk yaklaşımıdır*. M kontrol hamlesinin dizisi her örnekleme anında hesaplanmasına rağmen, sadece ilk hamle aslında uygulanmaktadır. Sonra yeni bir dizi, bir sonraki örnekleme anında hesaplanır, yeni ölçümler mevcut olduktan sonra; sadece ilk hamle uygulanmaktadır. Bu prosedür her örnekleme anında tekrarlanmaktadır.

1.4.2 Amaç fonksiyonları

Model öngörmeli kontrolünde, amaç fonksiyonları için birkaç farklı seçenek vardır. İlk akla gelen *standart en küçük kareler* veya "kuadratik" amaç fonksiyonudur. Amaç fonksiyonu tahmini hataların bir "kareler toplamı"dır (set noktası ve model tahmin çıktıları arasındaki farklar) ve kontrol hamleleri (adımdan adıma kontrol eylemi değişiklikleri).

3 tahmin ufku ve 2 kontrol ufku için kuadratik amaç fonksiyonu şöyle yazılabilir;

$$\Phi = (Y_{k+1} - \hat{Y}_{k+1})^2 + (Y_{k+2} - \hat{Y}_{k+2})^2 + (Y_{k+3} - \hat{Y}_{k+3})^2 + w\Delta u_k^2 + w\Delta u_{k+1}^2 \quad (1.3)$$

Burada, $\hat{y}$ model tahmin çıktısını temsil etmektedir, r set noktası, Δu bir örnek zamanından diğerine ayarlanabilen girdide değişikliği, w ayarlanabilen girdide değişiklikleri için bir ağırlık, ve indisler örnek zaman gösterir (k mevcut numune zamanıdır). ph tahmin ufku ve ch kontrol ufku için, en küçük kareler amaç fonksiyonu şöyle yazılır

$$\Phi = \sum_{i=1}^{ph} (Y_{k+i} - \hat{Y}_{k+i})^2 + w \sum_{i=0}^{ch-1} \Delta u_{k+i}^2 \quad (1.4)$$

Başka bir olası amaç fonksiyonu sadece tahmin hataları ve kontrol hamlesi mutlak değerlerinin toplamının alınmasıdır.

3 tahmin ufku ve 2 kontrol ufku için, mutlak değer amaç fonksiyonu şöyledir:

$$\Phi = |Y_{k+1} - \hat{Y}_{k+1}| + |Y_{k+2} - \hat{Y}_{k+2}| + |Y_{k+3} - \hat{Y}_{k+3}| + w|\Delta u_k| + w|\Delta u_{k+1}| \quad (1.5)$$

ph tahmin ufku ve ch kontrol ufku için yukarıdaki genel formu aşağıdaki gibidir:

$$\Phi = \sum_{i=1}^p |Y_{k+i} - \hat{Y}_{k+i}| + w \sum_{i=0}^{M-1} |\Delta u_{k+i}| \quad (1.6)$$

Çözülen optimizasyon problemi, genellikle M kontrol hamlesi ayarlayarak elde edilen, model denklemleri (eşitlik kısıtları) ve girdiler ve çıktılar kısıtlamalarına bağlı olan amaç fonksiyonunun bir minimizasyonu olarak ifade edilmektedir.

$$\min_{\Delta u_k, \dots, \Delta u_{k+ch-1}} \Phi \quad (1.7)$$

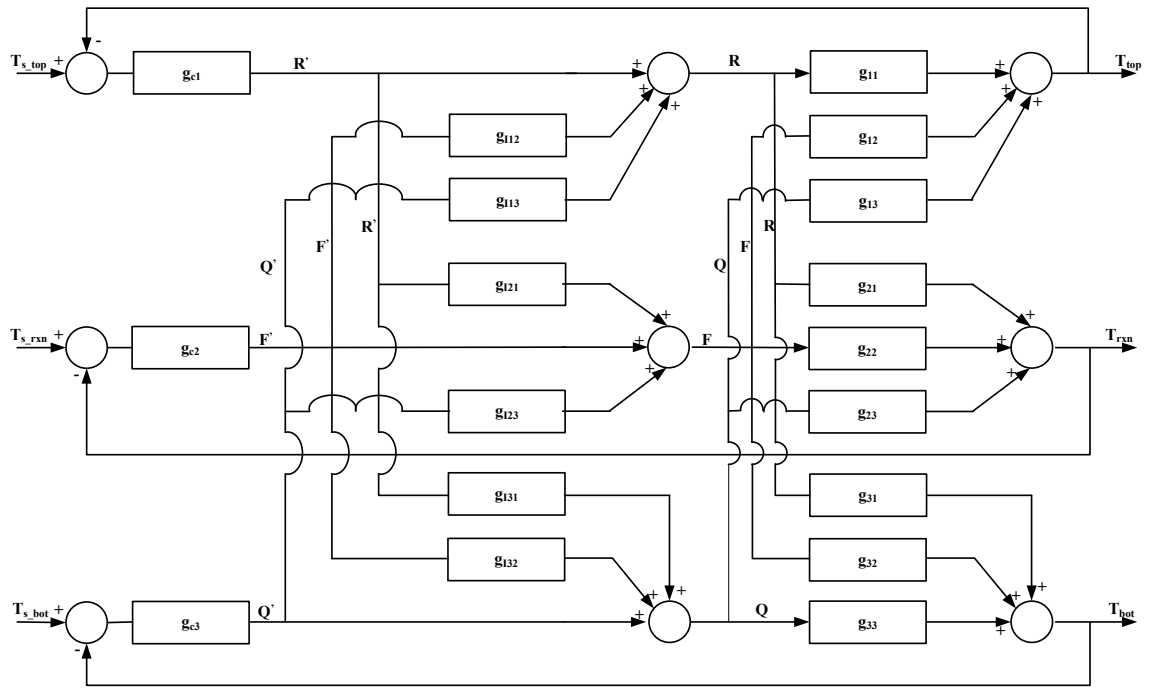
En küçük kareler yöntemi, MPC'de en yaygın kullanılan amaç fonksiyonlarıdır. En küçük kareler kısıtlanmayan problemlerin analitik çözümlerini vermektedir. Mutlak değeri amaç fonksiyonu, bir kaç algoritmada kullanılmıştır.

1.5 Ayırım (“Decoupling”)

Ayırım etkileşimi azaltan bir kontrol yöntemidir. Ayırımın gerçekleşebilmesi için içine kapalı döngü iletim fonksiyonu matrisi diyagonal formuna dönüştürülür ve böylece etkileşim azalır veya ortadan yok olur (Marlin 2000). Kontrol problemi olan sistemler, özellikle etkileşimli olan çok girdili çok çıktıli sistemler, basitleştirmek amacıyla “decoupling” uygulanmaktadır.

1.5.1 Dinamik ayırım

Burada, sistemin iletim fonksiyonunun tamamı kullanılmaktadır.



Şekil 1.6 MIMO tepkimeli dolgu damıtma kolonu için basitleştirilmiş ayırımı

Genel olarak, iki ayırım türü vardır:

- **Basitleştirilmiş ayırım**

Bu ayırım, şekil 1.6 bakılırsa, kontrol ufku şöyle hesaplanmaktadır:

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= v_1 + g_{I_{12}} v_2 + g_{I_{13}} v_3 \\ u_2 &= g_{I_{21}} v_1 + v_2 + g_{I_{23}} v_3 \\ u_3 &= g_{I_{31}} v_1 + g_{I_{32}} v_2 + v_3 \end{aligned} \right\} \quad (1.8)$$

- **Genelleştirilmiş ayırım**

Bu tür bir ayırımda, uygulanamakta olan prosedür aşağıdaki verilen denklemlerde gösterilmektedir (Ogunnaïke and Ray, 1994):

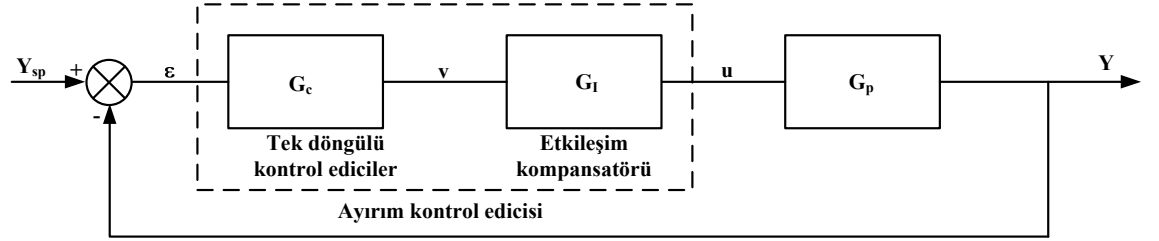
Şekil 1.7'den,

$$Y = G_p u \quad (1.9)$$

$$u = G_I v \quad (1.10)$$

O zaman,

$$Y = G_p G_I v \quad (1.11)$$



Şekil 1.7 İlişki kompensatörü içeren çok değişkenli kontrol sistemi

Etkileşimlerin ortadan kaldırılması için, T ile v'nin arasında bir köşegen matris gerekir; O matris $G_R(s)$ olsun. O zaman G_I şöyle seçilirse,

$$G G_I = G_R(s) \quad (1.12)$$

giriş/çıkış ilişkisi şöyle olur:

$$Y = G_R(s) v \quad (1.13)$$

Denklem (1.12)'den, kompensatör G_I şöyle verilir:

$$G_I = G_p^{-1} G_R \quad (1.14)$$

Açıkçası, Denklem 1.14 kullanılarak elde edilen kompensatör G_R 'ye bağlıdır. Bu nedenle, G_R 'nin seçilecek elemanlarının denklem 1.14'te gösterilen basit mümkün

ayırıcısı ile istenilen ayırım davranış sağlaması lazım. Yaygın olarak, kullanılan seçilen şöyledir:

$$\mathbf{G}_R = \mathbf{Diag}[\mathbf{G}_p(s)] \quad (1.15)$$

Üç girdili (geri akma oranı, besleme oranı ve kazan ısısı) üç çıktılı (üst ürün sıcaklığı, tepkime bölgesi sıcaklığı ve alt bölge sıcaklığı) tepkimeli damıtma kolonunun iletim fonksiyonu şöyle verilir:

$$\mathbf{G}_p(s) = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} \end{bmatrix} \quad (1.16)$$

Böyle 3 x 3 bir sistem için,

$$\mathbf{G}_R(s) = \begin{bmatrix} g_{11} & 0 & 0 \\ 0 & g_{22} & 0 \\ 0 & 0 & g_{33} \end{bmatrix} \quad (1.17)$$

$$\mathbf{G}_p^{-1}(s) = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} \end{bmatrix}^{-1} \quad (1.18)$$

$$\mathbf{G}_I = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} g_{11} & 0 & 0 \\ 0 & g_{22} & 0 \\ 0 & 0 & g_{33} \end{bmatrix} \quad (1.19)$$

$$\mathbf{G}_I = \begin{bmatrix} g_{I_{11}} & g_{I_{12}} & g_{I_{13}} \\ g_{I_{21}} & g_{I_{22}} & g_{I_{23}} \\ g_{I_{31}} & g_{I_{32}} & g_{I_{33}} \end{bmatrix} \quad (1.20)$$

ve

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= g_{I_{11}} v_1 + g_{I_{12}} v_2 + g_{I_{13}} v_3 \\ u_2 &= g_{I_{21}} v_1 + g_{I_{22}} v_2 + g_{I_{23}} v_3 \\ u_3 &= g_{I_{31}} v_1 + g_{I_{32}} v_2 + g_{I_{33}} v_3 \end{aligned} \right\} \quad (1.21)$$

1.5.2 Yatışkın-hal ayırımı

Yatışkın-hal ayırımında, iletim fonksiyonu elemanlarının sadece yatışkın-hal kazanç kısmı kullanılmaktadır.

Böylece, bir iletim fonksiyonu elemanı $g_{ij}(s)$ 'nin yatışkın-hal kazancı terimi K_{ij} varsa, ve yatışkın-hal kazançları K_p ile temsil edilirse, yatışkın-hal ayırıcısı şöyle verilmektedir:

$$\mathbf{K}_I = \mathbf{K}_p^{-1} \mathbf{K}_R \quad (1.22)$$

$\mathbf{K}_R$, $\mathbf{G}_R$ 'nin yatışkın hal versiyonudur ve $\mathbf{K}_I$ ayırıcılardır.

1.6 Yapay Sinir Ağları (YSA)

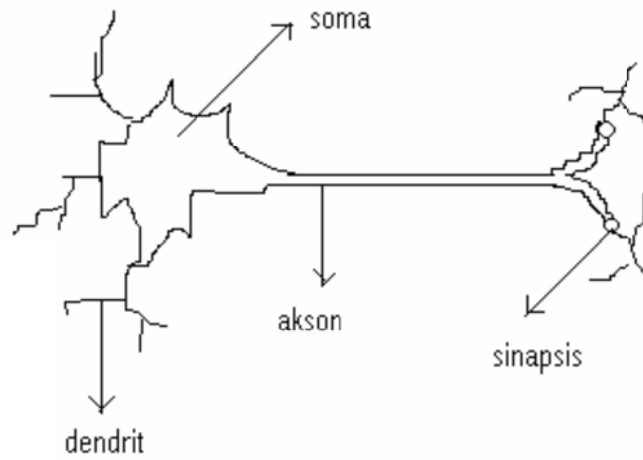
Donald Hebb, bugünün sinir ağı teorisinin babası olarak bilinmektedir. Nörolog olan Hebb, beynin nasıl öğrendiği ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Çalışmalarına beynin en temel birimi olan sinir hücresini ele alarak başlamıştır. İki sinir hücresinin birbirleriyle nasıl bir korelasyon sergilediklerini incelemiş ve sinir ağı teorisini bu temel üzerine oturtmuştur. Bu temel kuskusuz tek gerçek değildir. Çünkü beynin nasıl bir çalışma sergilediği su an dahi teoriler yardımıyla açıklanmaktadır. Ancak Hebb'in yardımıyla bu fikir ile yola çıkılmış ve günümüzdeki yüzlerce ayrı teoriyle geniş bir yelpazeye hitap eder hale gelmiştir. Su an gerçek yaşamda kullanılan ve başarı oranı %99'lar ile ifade edilegelen bir sürü yapay sinir ağı modeli mevcuttur. Tüm geliştirilen modeller bilgisayar dünyasında “çözumsuz” veya “np karmaşık” olarak nitelendirilen problemlerin çözümünü hedeflemekte ve hatta bir kısmını başarıyla çözmektedir. (Cinsdikici 1997)

Yapay sinir ağı, insan beyninin sinir hücrelerinden oluşmuş katmanlı ve paralel olan yapısının tüm fonksiyonlarıyla beraber sayısal dünyada gerçekleştirilmeye çalışılan modellenmesidir. Sayısal dünya ile belirtilmek istenen donanım ve yazılımdır. Bir başka

ifadeyle, yapay sinir ağı hem donanımsal olarak hem de yazılım ile modellenebilir. Bu bağlamda, yapay sinir ağları ilk elektronik devreler yardımıyla kurulmaya çalışılmış ancak bu girişim kendini yavaş yavaş yazılım sahasına bırakmıştır. Böylesi bir kısıtlanmanın sebebi, elektronik devrelerin esnek ve dinamik olarak değiştirilememesi ve birbirinden farklı olan ünitelerin bir araya getirilememesi olarak ortaya konmaktadır.

Yazılım yardımıyla daha kolay kurulabilen yapay sinir ağları, yine yazılım olarak çalıştırılabilmesi de rahat olabilecek modellerdir. Ancak elektronik devrelerle kurulan yapay sinir ağı modelleri doğal olarak yazılım ile kurulan modellere kıyasla daha hızlı sonuca ulaşabilecektir. Bu sebepten dolayı, yapay sinir ağları günümüzde yazılım olarak kurulup, geliştirilip, test edilmekte ve gerekli tüm değişiklikler ve dinamik güncellemeler yapılmakta; ardından sonuçlara göre karar verilmektedir. Eğer elde edilen sonuçların başarısı %99'lar ifade edilebiliyorsa, o zaman gerekli görüldüğü takdirde model elektronik devreler üzerine aktarılmaya çalışılmaktadır. Böylece, yapay sinir ağı modelleri, gerçek yasama uygulanmak üzere fiziksel bir platform üzerinde hazır hale getirilmiş olmaktadır.

Buraya kadar, yapay sinir ağının donanım ve yazılım sahasıyla olan ilişkisi gündeme getirilmiştir. Şimdi ise, yapay sinir ağının yapısından ve onu oluşturan elemanlardan söz edilecektir. Bu yapıyı anlayabilmek için öncelikle biyolojik sinir hücresinden bahsedilmesi gerekmektedir (Şekil 1.8) (Cinsdikici 1997).



Sekil 1.8 Biyolojik sinir hücre yapısı

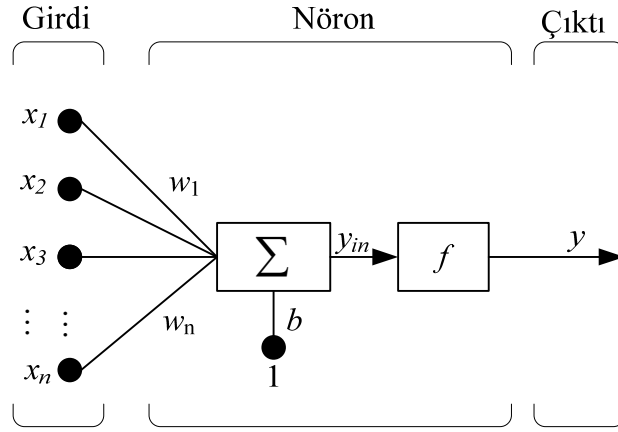
Dendrit: Görevi diğer sinir hücrelerinden iletilen sinyalleri, sinir hücresinin çekirdeğine iletmektir. Bu yapı basit gibi görünse de günümüzde dendritlerin görevlerinin daha kompleks olduğu yolunda söylemler hakim olan görüştür. Hücrenin çekirdeği ile her bir dendrit arasında farklı bir iletişim söz konusudur. Bu sebeple bazı dendritlerin etkileşimde ağırlıklı (dominant) pay sahibi, diğerlerinin de pasif (resesif) olduğu gözlenmektedir. Bu ise dışarıdan alınan sinyallerde seçicilik gibi önemli bir olgunun sinir hücresi tarafından gerçekleştirilmesi anlamını taşımaktadır.

Soma: Dendritler yoluyla iletilen tüm sinyalleri alıp toplayan merkezdir. Biyolojik olarak hücre çekirdeği (nükleus) olarak da bilinen yapıdır. Çekirdek gelen toplam sinyali diğer sinir hücrelerine göndermek üzere, bilgiyi aksona iletir.

Akson: Hücre çekirdeğinden aldığı toplam bilgiyi bir sonraki sinir hücresine dağıtmakla görevlidir. Ancak akson bu toplam sinyalin ön işlem den geçirilmeden diğer sinir hücresine aktarılmasına engel olur. Çünkü akson ucunda sinapsis denilen birimlere bilgiyi aktarır.

Sinapsis: Akson dan gelen toplam bilgiyi ön işlem den geçirdikten sonra diğer sinir hücrelerinin dendritlerine iletmekle görevlidir. Sinapsisin ön işlem ile gerçekleştirdiği görev çok önem taşımaktadır. Bu ön işlem gelen toplam sinyalin, belli bir eşik değerine göre değiştirilmesinden ibarettir. Böylece, toplam sinyal olduğu gibi değil, belli bir aralığa indirgenerek diğer sinir hücrelerine iletilmiş olunur. Bu açıdan, her gelen toplam sinyal ile dendrite iletilen sinyal arasında bir korelasyon (ilişki) oluşturulur. Buradan yola çıkılarak “öğrenme” işleminin sinapsislerde gerçekleştiği fikri ortaya atılmış ve bu hipotez, günümüz yapay sinir ağı dünyası için teori haline dönüşmüştür. Yapay sinir ağı modelleri üzerinde “öğrenme” bu teoriye dayanılarak, sinapsisler ve dendritler arasında yer alan ağırlık katsayılarının güncellenmesi olarak algılanmaktadır.

Yukarıda biyolojik olan sinir hücresinin elemanları tanıtılmaktadır. Öyleyse yapay sinir ağı hücre modeline geçiş yapmak gerekmektedir. Yapay sinir hücresi, gerçek biyolojik hücreyle aynı ilkelere dayandırılmaya çalışılmıştır (Cinsdikici 1997).



Sekil 1.9 Yapay sinir hücre yapısı

Sekil 1.9’da görünen yapay sinir hücresinin dendritleri x_n ve her bir dendritin ağırlık katsayısı (önemlilik derecesi) w_n ile belirtilmiştir. Böylece x_n girdi sinyallerini, w_n ise o sinyallerin ağırlık katsayılarının değerlerini taşımaktadır. Çekirdek ise tüm girdi sinyallerinin ağırlıklı toplamlarını elde etmektedir. Tüm bu toplam sinyal y_{in} ile gösterilmiş ve sinapsise eşiklenme fonksiyonuna girdi olarak yönlendirilmiştir. Sinapsis üzerindeki eşikleme fonksiyonundan çıkan sonuç sinyali y ile belirtilmiş ve diğer hücreye beslenmek üzere yönlendirilmiştir.

Yapay sinir hücresinin görevi kısaca; x_n girdi örüntüsüne karşılık y çıktısı sinyalini oluşturmak ve bu sinyali diğer hücrelere iletmektir. Her x_n ile y arasındaki korelasyonu temsil eden w_n ağırlıkları, her yeni girdi örüntüsü ve çıktı sinyaline göre tekrar ayarlanır. Bu ayarlama süreci öğrenme olarak adlandırılır. Öğrenmenin tamamlandığının belirtilebilmesi için, girdi örüntüleri, w_n ağırlıklarındaki değişim stabilize olana dek sistemi beslemektedir. Stabilizasyon (durağanlık) sağlandığı zaman hücre öğrenmesini tamamlamıştır.

Yapay sinir ağları, görevi yukarıdaki biçimde belirtilen yapay sinir hücrelerinin birleşiminden oluşan katmanlı yapının tümü olarak nitelendirilir. Böylece “ m ” adet yapay sinir hücresinin katmanlı yapısıyla yapay sinir ağı modeli kurulmuş olunmaktadır.

1.6.1 Yapay sinir ağlarında öğrenme

Önceki bölümde yapay sinir ağı yapısının işlevi kısaca anlatılmıştır. Bu temel üzerine, yapay sinir hücresinin öğrenme sürecinin açıklanması gerekmektedir. Bir yapay sinir hücresi nasıl öğrenir? Öğrenme süreci neye göre belirlenir? gibi soruların cevapları bu bölümde verilmeye çalışılacaktır.

Öğrenmenin ilk adımı aktivasyon olarak nitelendirilebilir. Sinir hücresine giren sinyallerin toplamı o hücreyi aktif hale getirebilecek bir değere sahip midir ya da değil midir? Cevap olarak şu verilmektedir: eğer toplam sinyal hücreyi ateşleyebilecek, eşik değerini atlatabilecek kadar yüksek ise o hücre aktiftir ($y=1$) aksi durumda o hücre pasiftir ($y=0$). Bu sorunun cevabı yardımıyla yapay sinir hücresinin sınıflandırma yapabildiği sonucuna ulaşılabilecektir. Çok basit anlamda, girdi örüntülerine 1 ya da 0 cevabını vererek sınıflandırma yapabilen böyle bir hücre, hangi girdi örüntüsüne 1 hangi örüntüye 0 diyeceği hakkında karar vermiş sayılmaktadır. “Karar vermek” ve “sınıflandırmak”, öğrenme sürecinin temel yapı taşlarını oluşturmaktadır (Cinsdikici, 1997).

Bir yapay sinir hücresi neye göre girdi örüntüsüne 0 ya da 1 demektir? Bu noktada sinir hücresinin ağırlıkları olarak adlandırılan ve şekil 1.9’da belirtilen w_n değerleri devreye girmektedir. Dışarıdan alınan her bir girdi örüntüsü (girdi sinyali) ile her defasında ayarlanan bu ağırlıklar öğrenmenin gerçekleştiğinin temsilcisidirler. Matematiksel bir ifadeyle w_n ağırlıkları, tüm girdi örüntülerini en iyi temsil etmeye çalışan ve tüm girdi örüntülerinin uzaklıklar toplamının minimum olduğu regresyon eğrisinin temsil edildiği geometrik şeklin en belirleyici noktalarını oluşturmaktadır. Bu sayede girilen örüntüye en doğru olan cevap verilebilmektedir.

Örneğin; $x_1 = 10$, $x_2 = 18$, $x_3 = 24$, $x_4 = 6$ olarak belirtilen 4 girdili bir hücrenin başlangıç ağırlıkları şöyle varsayalım; $w_1 = w_2 = w_3 = w_4 = 0.4$. Bir başka girdi kombinasyonu da şöyle verilsin: $x_1 = 11$, $x_2 = 18$, $x_3 = 20$, $x_4 = 2$. Eğer hücre iki örüntüde 1 cevabı vermiş ise ağırlıkları örneğin şu şekilde değişime uğratacaktır, x_1 yükseldiği için $w_1 = 0.45$; x_2 değişmediği için $w_2 = 0.4$; x_3 düştüğü için $w_3 = 0.35$; x_4 düştüğü için $w_4 = 0.35$. Böylece, hücre, her iki girdi ile karşılaştığında 1 cevabı verecek şekilde ağırlıkları

(korelasyon matrisi değerleri) ayarlamıştır. Diğer bir ifadeyle, iki girdi örüntüsünü öğrenmiştir.

Bu, teorik olarak belirtilen açıklamanın formül hali aşağıdaki gibidir;

$$y_{in} = \sum_{i=1}^p x_i w_i \quad (1.23)$$

Denklem 1.23’de x_i sinyali kendine ait olan katsayı ile çarpılarak toplan sinyale eklenmektedir. y_{in} şeklinde toplanan değer çekirdek tarafından akson kullanılarak sinapsise gönderilir. Sinapsis gelen toplam sinyal değerini eşikleyerek çıktı değerini vermektedir (Cinsdikici 1997).

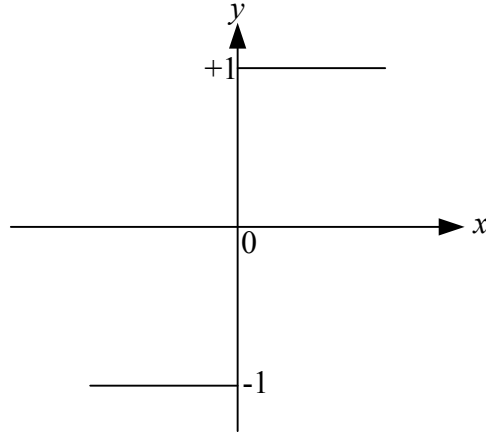
$$y = f(y_{in}) \quad (1.24)$$

Denklem 1.24’de “ f ” olarak betimlenen fonksiyon herhangi bir matematiksel fonksiyona denk olabilir. Ancak yapay sinir ağı modellerinde temel alınan 3 tip fonksiyon vardır (Şekil 1.12) (Cinsdikici 1997):

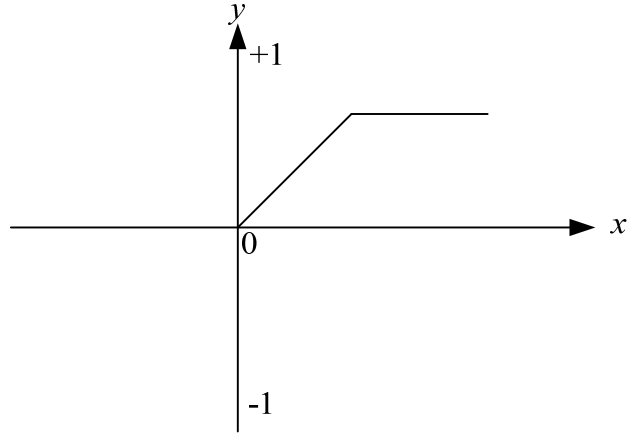
- a) Hard Limiter fonksiyonu: Bu fonksiyon girdi örüntülerinin değerlerine göre ayrık (“discrete”) sonuç elde etmek için kullanılır. Bir başka ifadeyle, girdi ya +1 ya da -1 sonucu verir. Başka bir ihtimal söz konusu değildir. Böylece kesin bir limit alınması sağlanmıştır.
- b) Threshold fonksiyonu: Bu fonksiyonda Hard Limiter fonksiyonuna benzemekle beraber, girdi örüntüsünün toplam değerine belli bir eşik değerine kadar doğrusal (lineer) artan değerlerle cevap vermektedir. Üst limite ulaşıldığında ise (eşik değeri, threshold) artık cevap ayrık olarak yine kesinlik göstermektedir. Artan bir eğilim göstermez.
- c) Sigmoid fonksiyonu: Bu fonksiyonda girdi örüntüsüne devam eden, sürekli cevaplar verilmektedir. Cevaplar kesinlikle ayrık değildir. Bu sebeple sigmoid fonksiyonu yaygın bir kullanıma sahiptir. Çünkü hassas değerlendirmelerin kullanılacağı problemler için uygulanması en uygun olan fonksiyonu temsil etmektedir. Sigmoid fonksiyonu yerine yine süreklilik arz eden tanjant fonksiyonları ya da ona benzer fonksiyonlar da kullanılabilir. Önemli olan fonksiyonun türevinin alınabilecek bir fonksiyon olmasıdır.

$$w_{i,yeni}(t+1) = w_{i,eski}(t) + (\mu * [d(t) - f(y_{in})] * x_i(t)) \quad (1.25)$$

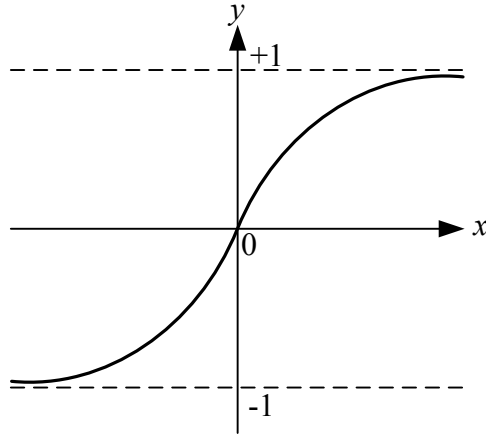
Denklem 1.25'te (Cinsdikici 1997) eşikleme sonucu elde edilen cevap ile $f(y_{in})$ olması beklenen değer olan $d(t)$ arasındaki yanılma payı m öğrenme katsayısı ile ve girdi sinyaliyle çarpılıp yeni ağırlığı belirlemek için eski ağırlık ile toplanır. Bu formül yardımıyla, yapay sinir hücresinin öğrenmek için işleme koyduğu güncelleme süreci açıklanmış olmaktadır.



(a) Hard limiter



(b) Threshold



(c) Sigmoid

Şekil 1.10 Yapay sinir ağı modellerinde temel alınan 3 tip fonksiyon

YSA'nın öğrenme süreci 2 ana prensip gözetimi altında gerçekleştirilmektedir: öğretmenli öğrenme ("supervised learning") ve kendi kendine öğrenme ("unsupervised learning") (Cinsdikici 1997).

Öğretmenli öğrenmede, yapay sinir ağının dışarıdan etki ile eğitilmesi söz konusudur. Bu tip bir öğretimde, girilen $x_i(t)$ değerlerinin ne tür bir çıktı vermesi gerektiği önceden bilinmekte ($d(t)$) ve yapay sinir ağı ağırlıkları bu korelasyona göre güncellenmektedir. Bu öğretimde temel bilinen " $d(t)$ " ile yapay sinir ağının verdiği " y " sonucu arasındaki hatanın " w_i " ağırlıklarına öğretilmesidir. Kabaca bir örneklendirme yapılmak istenirse, insani tarif ederken şu özellikler dikkate alınsın: boy, kile, saç rengi, ayakkabı numarası. Bu kriterlere göre bir öğrencinin futbol oynayabilir ya da oynayamaz şeklinde ayrımı yapılmak istensin. Bir öğretmenin verdiği bilgiler ışığında her öğrenciye "oynayabilir", "oynayamaz" bilgisi atansın. Eğer yapay sinir ağımız 100 kişilik böyle bir grubu öğrenseydi ve ardından 100 kişinin içinden herhangi biri yapay sinir ağına boyu, kilosu, saç rengi, ayakkabı numarası verilerek sorulsaydı, yapay sinir ağı o öğrencinin oynayıp oynayamayacağını cevabını verecekti. Çünkü yapay sinir ağı her bir özellik için (boy kilo, vs.) ağırlık güncellemesini (1.25) nolu denkleme göre yapacak ve öğretmenin gösterdiği her öğrenci ve ona iliştilen kararı arasındaki korelasyonu " w " ağırlıkları üzerinde güncelleye güncelleye öğretecekti. Ağ burada öğrenmesini bir öğretmenle yapmıştır.

Kendi kendine öğrenme ise yapay sinir ağının dışarıdan herhangi bir etki olmaksızın aldığı bilgileri kendi içerisinde kıyaslama yaparak sınıflandırması ile oluşan öğrenme sürecini belirtmektedir. Bunu yapabilmek için yapay sinir ağı ilk aldığı örneği (ya da örnekleri, kaç sınıfa ayırmak istiyorsa o kadar örnek alınabilir) bir sınıf olarak ilan eder ve geriden gelecek tüm girdi örüntülerini o sınıfa benzetmeye çalışır. Bu şekilde, tüm girdi örüntülerini kendi aralarında benzeyip benzememelerine göre ayırt edecektir. Elbette burada sınıflandırma yaparken hatalı bazı cevaplar üretmek kaçınılmazdır. Ancak girdi örüntüleri sisteme çok defalar öğrenim için beslenecek olunursa, elde edilen sonuç %4 gibi bir yanılma oranına kadar düşecektir. Yine kabaca örneklendirmek gerekirse, 100 kişilik bir sınıfın boy, kilo, saç rengi ve ayakkabı numarası yine girdi örüntülerinin değerlerini oluştursun. Yapay sinir ağı ilk gelen kişiyi bir sınıf olarak ilan edecek ve ardından sisteme beslenen tüm girdileri bu buna benziyor ya da benzemiyor diye ayırt edecektir. Bu ayrımı yapabilmesi için 100 kişilik grubun değerleri 1000 kere sisteme tekrar tekrar beslendiği takdirde, yapay sinir ağı en sonunda öğrenmesini tamamlayacak ve 2 sınıf öğrenmiş olacaktır. Girdiye benzeyenler ve benzemeyenler, adını koyamadığı bu sınıflar yardımıyla “hanımlar” ve “beyler” gibi olarak rahatlıkla sınıf ayrılmış. Daha doğrusu bu iki sınıf başarıyla öğrenilmiş olunacaktır. Böyle bir ağ modeline yabancı bir kişi değerleri verilirse, sinir ağı bu kişiye doğru cinsiyetini söyleyecektir.

Yapay sinir ağları temelde bu iki öğrenme metodundan ya birini ya da hibrid denilen karma modeli kullanır. Ancak öğrenmede “w” ile gösterilen ağırlıkların güncellenmesinin bu metotlara göre yapılması, öğrenme ile ilgili başka etkin rol oynayan etmenlerin var olmadığı anlamına gelmemektedir. Güncellemede kullanılan Denklem (1.25)’te yer alan “ μ ” ile sembolize edilmiş bir öğrenme katsayısı da öğrenmenin sürecini etkileyen bir faktördür.

“ μ ” katsayısı öğrenmenin süresinin ve doğruluğunun ilişkisini düzenleyen önemli bir değişkendir. Uzayda bir merkez düşünülürse ve bir başlangıç noktasından interpolasyon yöntemiyle merkeze yaklaşılmak istense, merkeze doğru atılacak her adımın büyüklük değeri önem taşır. Örneğin çıkış noktasından merkeze doğru 5cm atlayarak gidilmeye çalışılsa merkez belki de 3 adım sonrasında ulaşılanın ötesinde üstünden atlanıp geçilmiş bile olacaktır. Eğer adım uzaklığı 1cm şeklinde belirlenecek olunursa, merkeze

14 adım sonra tam olarak ulaşılmış olunacaktır. Örnekten görüldüğü gibi, “ μ ” değişkeninin değeri büyük alınırsa öğrenme kaba ve kısa süreli, küçük alınırsa hassas ve uzun süreli olacaktır. Bu noktada “ μ ” değeri mümkün olduğunca optimum tutulmalıdır, ne büyük ne de çok küçük alınmalıdır çünkü büyük alınan değer yüzünden istenilen sonuca ulaşamayacak, çok küçük alındığı takdirde ise istenen hedefe çok düşük bir performans ile ulaşacaktır. Bunun için yapay sinir ağlarının öğrenme algoritmalarında genelde belli bir iterasyon (döngü sayısı) geçtikten sonra, “ μ ” değeri azaltılır. Böylelikle, başlangıçta algoritma büyük adımlar atarak hedefe doğru yönelir, belli bir süre sonra adımlarını küçültmeye başlar. Bu sayede algoritma hızlı bir biçimde sonuca, hassas bir yaklaşımla ulaşır. Bunun gerçekleştirilmesi için “ μ ” değeri belli bir sabit katsayı ile çarpılmaktadır (Denklem 1.26) (Cinsdikici 1997).

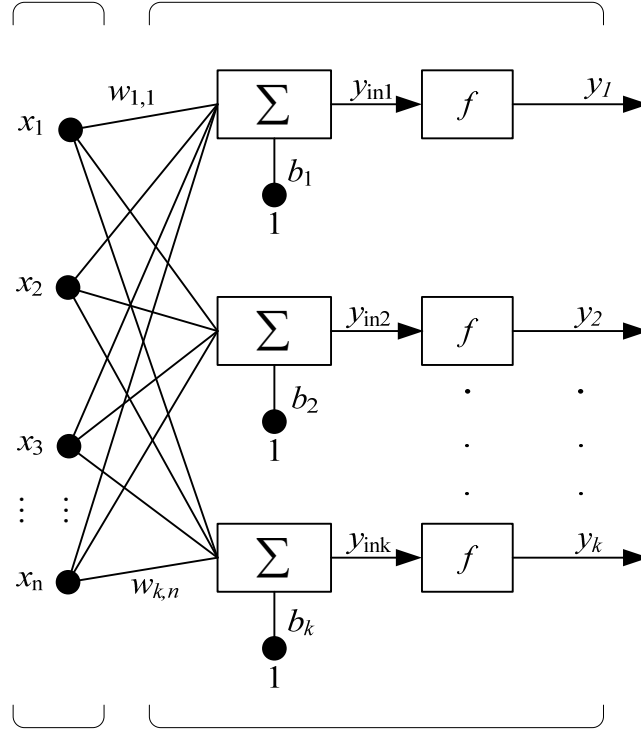
$$\mu = \mu * \text{sabit} \quad (1.26)$$

Öğrenmenin başka bir kritik ögesi verilerin büyüklüğü ve iterasyon sayısıdır. Yapay sinir ağının çözüme ulaşabilmesi için problemin karakteristiğini yakalayabilecek kadar girdi örüntüsüne (veri) sahip olması gerekir. Örneğin Türkiye’nin yağmur yağışını tahmin edebilmek için 30 günlük verilerin kullanılması, o problemin çözüme ulaşabilmesini engelleyen bir etken faktör olacaktır. Bu yüzden problemin çözümünden önce kullanılacak veriler üzerinde istatistiksel bir yorumlamanın yapılmış olması, yapay sinir ağlarının o verileri kullanarak başarıya ulaşması için yararlı olacaktır. Kullanılacak veri popülasyonun büyüklüğü her probleme göre değişik olabilir. Bu nedenle, yapay sinir ağlarının başarıya ulaşması için gereken iterasyon (döngü) sayısı her bir probleme göre değişebilir. Bunun yanı sıra yapay sinir ağının problemi daha iyi öğrenebilmesi, cevap üretirken daha hassas derecelerde doğru cevap üretebilmesi için, problemin kendi içinde de iterasyon sayısı değiştirilebilir. Örneğin, Türkiye’nin yağışının modellenenebilmesi için 10 senelik veri, yapay sinir ağına bir kere beslenirse vereceği cevap çok kaba ve yuvarlamalı olacak iken, 1000 kere aynı veriyi beslemek ile daha hassas derecelere kadar öğrenmesi sağlanmış olacaktır. Bu noktada, iterasyon sayısı problemden probleme ve problemin kendi içindeki hassasiyete göre değişebilecektir. Çok fazla döngü performansı azaltıp sonuca ulaşmayı uzun bir zamana yayarken, az sayıda döngü de sonuca ulaşmayı engelleyecek kadar kaba sonuçlar üretmeye neden

olacaktır. Bu yüzden yapay sinir ağıları, her bir problem için uygulanırken iterasyon sayısı deneme yanılma yöntemiyle tespit edilmeye çalışılır.

Öğrenmenin üzerinde etkin rol oynayan bir başka faktör yapay sinir ağı üzerinde kullanılan katman sayısıdır. Burada kısaca şu söylenebilir. Modelden modele katman sayısı değişiklik gösterse de, su an yaygın olan görüşe göre, 3 katmandan oluşan bir yapay sinir ağı modelinin en karmaşık problemlere dahi yeterli olduğudur (Cinsdikici 1997). Ancak bu bir kısıtlama değildir, 2 katmanlı ya da 4 katmanlı yapay sinir ağı modelleriyle problemler çözülemez anlamı içermemektedir. Bu 3 katman sırasıyla, girdi, saklı, çıktı katmanı olarak adlandırılırlar. 5 katmanlı bir yapıda, birinci katman girdi, beşinci katman da çıktı ve aradaki kalan katmanlar saklı katmanlar olarak adlandırılmaktadır.

Öğrenmede etkili olan bir diğer faktör, her katman üzerinde kullanılan sinir hücresinin sayısıdır. Örneğin şekil 1.11’de, girdi katmanında k ve saklı katmanda n ve sinir hücresi yer almaktadır. Buradaki sayılar probleme giriş için kullanılan tamamen kullanıcının kurgusuyla belirlenmiş sayıları ifade etmektedir. Bu yüzden her katmanda olması gereken hücre sayısı gibi sabit bir belirleme söz konusu olmayıp aynı iterasyon sayısı gibi bu da deneme yanılma yöntemiyle tespit edilmektedir. Ancak yine en iyileme açısından şu vurgulanabilir; çok sayıda yapay sinir hücresi yapının karmaşık fonksiyonlarla çalışıp düşük performans sergilemesine, az sayıda hücre ise problemin öğrenilmemesine neden olacaktır.



Sekil 1.11 Girdi katmanı k hücreli ve saklı katmanı n hücreli bir sinir ağı

Tüm buraya kadar öğrenmede etkin olan unsurların yapay sinir ağları için taşıdığı önemin aktarılması yer almıştır. Bunlara ek olarak, öğrenmeyle doğrudan ilişkili olan kapasiteden söz etmek gerekmektedir. Öğrenmede bahsedilen yukarıdaki tüm etmenler kullanılarak yapay sinir ağının ne kadar öğrendiği tespit edilir. Bunun ölçütü olarak öğretilen popülasyondan tek tek girdi örüntüleri alınarak yapay sinir ağına sorulur. Eğer yapay sinir ağı bunları doğru olarak cevaplandırabiliyorsa, bu doğru cevapların oranı tutulur. İşletim sistemi teorisindeki, vuruş oranı (“hit ratio”) mantığının aynısı yapay sinir ağları üzerinde kapasiteyi belirtmektedir. Örneğin, Hopfield modelinde, 100 bitlik girdi örüntüleri kullanılıyorsa, Hopfield kapasitesi 15 adet girdi örüntüsünü tutar denmektedir. Bir başka deyişle, Hopfield modelinde 16. girdi örüntüsünün yapay sinir ağına öğretilmesi mümkün değildir. Buna kıyasla, backpropagation modelinde ise %99 ulasan öğrenme kapasitesine ulaşılmaktadır (Cinsdikici 1997).

1.6.2 Sorgulama

Yapay sinir ağı modellerinin temel iki işlevi vardır. Öğrenmek ve öğrendiğinin sorgulaması yapıldığında buna yanıt vermek. Ancak dikkat edilmesi gereken nokta, yapay sinir ağı modellerine daha önce hiç öğrenmediği bir örüntünün sorulmasıyla, yapay sinir ağının bu örüntüyü daha önce öğrendiği örüntülerden birine benzeterek cevap vermeye çalışmasıdır. Bu çalışma prensibi sayesinde, yapay sinir ağı modelleri hata toleransı (“fault tolerant”) mekanizmalara olarak bilinmektedir.

Hata-toleransı yapısına örnek vermek gerekirse, yüz tanıma ile uğrasan yapay sinir ağı modelleri vardır. Bu sistem yüz tiplerini öğrenmeye yönelik çalışmaktadır ve çok iterasyon yaparak bir kişinin yüzündeki bazı karakteristikleri öğrenmek suretiyle, insan yüzünü tanımaya çalışmaktadır. Eğer bu sistem bir kişinin yüzünü öğrendiyse, yüzün bir parçasının kapatılarak sorgulanması, sistemin yine doğru cevap vermesini etkilemeyebilir. İşte girdi örüntüsünün belli bir miktarı yok olsa dahi, yapay sinir ağının O girdi örüntüsüne doğru cevap veriyor olması, yapay sinir ağlarının hataya olan tolerans yaklaşımını göstermektedir.

Sorgulama esnasında kullanılan çok basit teknikler vardır. Bu tekniklerden bazıları; Hamming Mesafesi (“Hamming Distance (HD)”), Euclidean Mesafesi (“Euclidean Distance (ED)”), Bölümlenmiş Genelleştirilmiş Euclidean Mesafesi (“Partitioned Generalized Euclidean Distance (PGED)”) olarak isimlendirilen uzaklık ölçüm teknikleridir (Cinsdikici, 1997). Girilen örüntünün saklanan (öğrenilmiş) olan örüntülerle matematiksel olarak uzaklıklarını bulmak için kullanılan bu teknikler sayesinde, girdi örüntüsüne en yakın olan öğrenilmiş örüntü cevap olarak yapay sinir ağı tarafından dışarı verilmektedir.

Sorgulamada başka bir metodolojide (1.23) ve (1.24) formüllerinin uygulanıp sonuçta kimlerin “y” çıktısında aktif, kimlerin ise pasif olduklarına göre girdi-öğrenilmiş ikilisi arasında yakınlık kararı verilmesidir. Burada yapay sinir ağının kendi aktiflik fonksiyonu dışında HD, ED, PGED gibi harici bir fonksiyon kullanılmadığı için, bu tip sorgulama yapan yapay sinir ağları modelleri sorgulama sonucuna daha hızlı ulaşmaktadırlar (Cinsdikici 1997).

Yapay sinir ağlarının hepsi ayrı ayrı sorgulama tekniği kullanıyor olabilirler. Bazıları ise bahsi geçen sorgulama tekniklerinin hibrid (ikili) şeklinde birlikte kullanımını da uyguluyor olabilirler. Bu noktada sorgulama tekniğinin belirlenmesi durumu modeli geliştiren kişinin tercihi ve problemin karakteristiğine birikmiştir. Ancak basit bir genelleme ile şu vurgulanabilir; Hamming Mesafesi (HD), Euclidean Mesafesi (ED), Bölümlenmiş Genelleştirilmiş Euclidean Mesafesi (PGED) gibi matematiksel uzaklık hesaplama fonksiyonları, görüntü işleme problemlerinde, örüntü tanıma problemlerinde sık kullanılmaktadır. Optimizasyon (en iyileme) problemlerinde ise (1.23) ve (1.24) formüllerinin bir arada kullanılarak hücre aktivasyonuna göre sorgulamanın sağlandığı görülmektedir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Tezin bu kısmında, yapılan çalışma ile ilgili kaynak özetleri verilmektedir.

Sørensen vd. (1995), endüstriyel bir tepkimeli damıtma prosesi için işletim değişkenleri önsel optimum profilleri kurmuşlardır. Optimal ve optimal olmayan şartlarda kontrol özellikleri değerlendirilmiştir. En iyi profilleri uygulamak için bir PI kontrolü ile bir nokta sütunu kontrol şeması tasarlanmıştır. Kontrol performansının test edilmesi için reaksiyon modeli ve kazan ısısı bozuklukları da dahil olmak üzere bir simülasyon modeli kullanılmıştır. Gaz-sıvı dengesi için Raoult kanunu kullanılmıştır. Bu reaksiyon parametreleri ve kazan ısısı bozuklukları ile birlikte, basit bir sürekli PI-kontrol sistemi ve bir gerçek zamanlı kontrol sistemi, kolonun kontrol edilmesi mümkün olmuştur. Her iki durumda da, iyi bir performans elde edilmiştir.

Sneesby vd. (1997), “MESH” (Malzeme denge, buhar-sıvı dengeleri denklemler, mol kesri toplamları ve ısı dengesi) denklemlerine dayalı ek denklemler ile beraber “SpeedUp” kullanılarak ana kimyasal reaksiyon modellemek için dinamik bir simülasyon geliştirmişlerdir. Geliştirilmiş dinamik model, geçici açık döngü yanıtları belirlemek için ve kapalı-döngü kontrol yapılandırmalarının test edilmesi için PI kontrolleri kullanılarak kullanılmıştır. Birkaç kontrolü yapılandırmaları uygun bulunmuştur, ancak iki tanesi tavsiye edilmiştir: LV (molar sıvı akışı / molar buhar akışı) ve LB (molar sıvı akışı / mol alt akışı) yapılandırmaları; ikisi de kompozisyon kontrolü için ayarlanmıştır. Sıcaklık algılayıcısının konumu kritik olduğu bulunmuştur. Böylece, bu algılayıcı için sıyrma bölümünün ortasına yakın bir yerde tercih olacağı tavsiye edilmiştir.

Sneesby vd. (1999), ETBE reaktif distilasyon kolonu ve basit doğrusal PI kontrol ediciler kullanılarak, tepkimeli damıtma prosesi için kompozisyon ve dönüşümün önemini tanıyan bir iki nokta kontrol yapılandırmasının nasıl geliştirilip uygulanabileceğini göstermişler. Sıvı faz aktivite katsayıları tahmin etmek için UNIFAC yöntemini kullanmışlar ve reaksiyon dengesi konsantrasyonları yerine aktiviteye dayanmaktadır. Kompozisyon ve dönüşüm kontrolü yapılandırmasını test etmek için SpeedUp dinamik simülasyonlar kullanmışlar ve proses bozukluklarına rağmen yüksek izobutilen dönüşüm korunmasında etkili olduğunu kanıtlamışlardır.

Ayrıca, iki nokta kontrol düzeni bir nokta kontrol düzeni ile karşılaştırıldığında özellikle besleme oranı değişiklikleri ve kompozisyon ayar noktası duyarlılığı için üstün bozan etken yeteneği olduğu keşfedilmiştir.

Al-Arfaj ve Luyben (2000), ideal bir iki ürünü olan tepkimeli damıtma kolonu için alternatif kontrol yapılarını karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında, basit bir ideal fiziksel özellikleri, kinetik ve buhar-sıvı dengesi kullanılmıştır. Altı farklı alternatif kontrol yapısı özenli dinamik simülasyon ile değerlendirilmiştir. Kolon reaksiyon bölgesi kapasitesi bol olduğu sürece, sistemde büyük bozuklukları olsa bile, tek nokta ısı kontrolü ürün saflığı belirtilen değerler elde etmek için kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır.

Balasubramhanya ve Doyle III (2000), indirgenmiş doğrusal olmayan modelleri geliştirilmişler. Bu modeller bir doğrusal olmayan model öngörmeli kontrol algoritmasında kullanılmıştır. Bu yaklaşımı göstermek için etil asetat ve su üretmek üzere esterleşme reaksiyonu örnek olarak kullanılmıştır. VLE için sabit uçuculuk varsayılmıştır. Çalışmanın sonucunda, model öngörmeli kontrolünde indirgenmiş model kullanıldığında iyi kontrol elde edildiği ortaya keşfedilmiştir.

Sneesby vd. (2000), sadece lineer (PI) kontrol döngüleri kullanarak, bir ETBE tepkimeli damıtma kolonu için entegre bir kontrol şeması geliştirmişlerdir. Bu sistemde sıvı faz sapmasını hesaplamak için UNIFAC modeli kullanılmıştır. Dinamik simülasyonlardan elde edilen sonuçlara göre bu kontrol proses bozukluklar için kararlı olduğu ortaya konulmaktadır.

Monroy-Loperena vd. (2000a), kesikli tepkimeli damıtma kolonunun üst ürününü düzenlemek için ve geri akma oranı ayarlanabilen değişkeni kullanılmak üzere bir çıkış-geri beslemeli kontrolü tasarlamışlardır. Sistemin güçlü belirsizlikler altında iken kontrol performansını göstermek için sayısal simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, tasarlanan kontrol kanunu, klasik PID kontrolü ile eşdeğer olduğu ortaya çıkmıştır.

Monroy-Loperena vd. (2000b) düzenlenmiş çıkış dinamiklerinin güçlü belirsizlikler karşısında bir etilen glikol tepkimeli damıtma kolonunun kontrol sorunu hakkında

çalışmışlar ve amaçları üst ürünün etilen glikol kompozisyonunun düzenli olmasını sağlamaktır. Bunu başarmak için, bir PI kontrol edici ile eşdeğer olan birinci derece çıkış-geri beslemeli kompansatör tasarlanmıştır. Tam bir dinamik model üzerinde sayısal simülasyonları kullanılarak, örneklenen/geciken ölçümleri karşısında ürün bileşiminin düzenli kontrolünün gösterilmiştir.

Vora ve Daoutidis (2001) ideal olmayan bir gaz-sıvı denge kullanılarak etil asetat üretimi için bir tepkimeli damıtma kolonunun dinamiğini ve kontrolünü incelemişlerdir. Kolonun dinamiğinin analizleri sonucunda, sıvının akış hızı ve sıvı bileşimler ve kesirleri, sırasıyla karşılık gelen hızlı ve yavaş dinamiklerinin varlığını ortaya çıkarmışlardır. Klasik SISO PI kontrolörleri ile birlikte model esaslı doğrusal ve doğrusal olmayan durum geri-beslemeli kontrol ediciler tasarlamışlar. Kontrol çalışmaları sonucunda, doğrusal model esaslı kontrol edicinin ve klasik PI kontrol edicinin performanslarına göre doğrusal olmayan kontrol edicinin daha iyi olduğunu keşfetmişler.

Al-Arfaj ve Luyben (2002a), etil tert-butil eter (ETBE) tepkimeli damıtma kolonu için kontrol yapıları üzerinde çalışmışlardır. İki proses yapılandırmaları araştırmışlardır: Birincisi iki ayrı taze besleme, diğeri de tek bir karışık besleme yapmıştır. Stokiyometri dengelemek için çift besleme sistemine iç bileşimi kontrolünün gerekli olduğunu ancak tek besleme durumunda, bozuklukları çok büyük olmazsa, etkili bir şekilde sadece bir ısı kontrolü ile kontrol edilebileceğini söylemişlerdir.

Al-Arfaj ve Luyben (2002b), basit bir tek oransal-entegral (PI) sıcaklık kontrol yapısı kullanılarak bir etilen glikol damıtma kolonunun kontrolünü yapmışlardır. Çalışmalarında Wilson VLE ilişkilerini kullanmışlardır. Kontrol amaçları, arzu edilen aralık içinde etilen glikol saflığının tutulması. Etilen glikol tepkimeli damıtma kolonunun basit bir PI kontrol edici kullanılarak etkin bir şekilde kontrol edilebileceğini göstermişler.

Al-Arfaj ve Luyben (2002c), bir besleme ve iki ürün olan bir tepkimeli damıtma kolonunun tasarımını ve kontrolünü yapmışlardır. Dört kontrol yapısı (çift kompozisyon kontrolü, tek kompozisyon kontrolü, çift sıcaklık kontrolü ve tek sıcaklık kontrolü) incelemişlerdir. Örnek proses olarak, 2-penten metatezini kullanmışlardır. Kontrol

parametrelerini hesaplamak için Tyreus-Luyben ayarlama yöntemini kullanmışlardır. Sonuç olarak, ürünlerin saflıklarını korumak için çift sıcaklık kontrol yapısının etkili, sağlam ve kararlı olduğunu göstermişlerdir.

Al-Arfaj ve Luyben (2002d), PI kontrol ediciler (sadece P seviyelerde) içeren üç kontrol yapısı kullanılarak benzer, fakat farklı bir şekilde, gerçek kimyasal sistemi, metil asetat üretimi, ile ideal bir tepkimeli damıtma kolonunun kontrolü karşılaştırmışlardır. VLE'nin tahmini için Wilson modeli ve Mark yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, bir iç kompozisyonu kontrol edici ve bir sıcaklık kontrol edici ile bir kontrol yapısı, yüksek ve orta dönüşüm tasarımları için etkin kontrolü sağladığını keşfetmişlerdir.

Bisowarno vd. (2003), bir etil tert-bütül eter tepkimeli damıtma kolonu için bir nokta kontrolü üzerinde bir model kazanç programını geliştirip uygulamışlardır. Program için türetilmiş ve basitleştirilmiş bir giriş-çıkış birinci derece olan modelleri kullanılmıştır. Modeller uygun bir anahtarlama şeması ile programa entegre edilmiştir. Bu kontrol stratejisi, set noktası izleme ve bozukluk etkisi için, klasik oransal-integral kontrole göre daha iyi sonuç gösterdiğini söylemişlerdir.

Engell ve Fernholz (2003), tepkimeli ayırma proseslerin genel kontrol yönlerini incelemişlerdir. Çalışmalarında, klasik kontrol yapıları ve yapay sinir ağ model içeren model esaslı öngörmeli kontrol yapıları kullanılarak model tartışılmıştır. Bu kontrol yapıları göstermek için bir yarı-kesikli tepkimeli ayırma proses kontrolü örnek olarak kullanılmıştır. Tepkimeli ayırma prosesin güçlü etkileşimleri ve doğrusal olmadığından dolayı, iyi sonuç elde etmek için doğrusal olmayan model öngörmeli kontrol edici gerekli olduğunu söylemişlerdir.

Grüner vd. (2003), sağlam doğrusal olmayan hal geri bildirici ve doğrusal olmayan gözlemci içeren doğrusal olmayan kontrol şeması tasarlamışlardır. Doğrusal olmayan kontrol edicinin performansını bir iyi ayarlanmış çapraz doğrusal çok girdi – çok çıktı PI kontrol edici ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre doğrusal olmayan kontrol edicinin daha iyi performansı ortaya çıkmıştır.

Tian vd. (2003), bir pilot ölçekli tepkimeli damıtma kolonunda sentezlenen etil tert-bütül eter eter (ETBE) saflığını korumak için bir model esaslı öngörmeli kontrol geliştirmişler. Örnek çalışmalarına göre model esaslı öngörmeli kontrol set noktası izleme ve bozukluk etkisi için iyi bir kontrol performansı sağlandığı gösterilmiştir.

Huang vd. (2004), merkezi olmayan PI kontrol ediciler kullanarak heterojen tepkimeli damıtma sıcaklık kontrolü üzerinde çalışmışlardır. Düşük uçuculuk olan n-butil propionat'ın gaz-sıvı-sıvı denge davranışını inceleyerek, heterojen bir tepkimeli damıtma tasarım ve sıcaklık kontrolü yapmışlardır. Gaz-sıvı-sıvı denge ilişkilerini hesaplamak için NRTL aktivite katsayısı modelini kullanmışlardır. Bu çalışmadaki yapılan kolon tasarımı bütül asetat tepkimeli damıtma için de uygulanmıştır ve benzer VLLE davranışı görülmüştür. Sonuç olarak, basit ısı kontrolü ile iyi kontrol performansı elde edilebileceğini söylemişlerdir.

Khaledi ve Young (2005), doğrusal ETBE tepkimeli damıtmasını araştırmışlar ve 2 x 2 kısıtlamasız model öngörmeli kontrol (MPC) planı geliştirmişlerdir. Çalışmanın kontrol yapılarında, tepkime bölgesi sıcaklığını kontrol etmek için geri akış hızı kullanılmıştır. MPC'de kullanılan modeller ölü zaman içeren birinci derece olanıdır. Sonuç olarak, proses etkileşimleri mükemmel bir şekilde MPC tarafından işlenmiştir.

Wang ve Wong (2006), IPA sentezi proses özellikleri ve kontrol stratejileri araştırmak için yatışkın hal ve dinamik simülasyonları kullanmışlardır. Çalışmalarında, kademe sıcaklığı ve propilen kompozisyonu kontrol edilen değişkenler olarak seçilmiştir. Seçilen giriş-çıkış çifti arasında yüksek doğrusal olmaması değişken dönüşümü ile azaltılmıştır. Dinamik simülasyonların sonucunda, değişken dönüşümü içeren doğrusal olmayan kontrol sistemin doğal bir değişken olan kontrol sisteme göre daha üstün kontrol performans sağlama yeteneğine sahip olduğunu göstermişlerdir.

Kawathekar ve Riggs (2007), asetik asit ve etanol arasında bir sülfürik asit katalizörlü esterleşme reaksiyonu ile etil asetat üretimi için bir tepkimeli damıtma kolonu için doğrusal olmayan bir modeli öngörmeli kontrolü (NLMPC) uygulamışlardır. Kolonun model denklemlerdeki diferansiyel denklemler sonlu elemanlar üzerinde dik kolokasyon kullanılarak yaklaştırılmıştır. Diyagonal PI kontrolü yöntemiyle [L/D, V] ve [L/D, V/B] konfigürasyonları iyi olduğu belirtilmiştir. NLMPC [L/D, V] konfigürasyonu

uygulandığı zaman 2 – 3 arasında bir faktör ile PI kontrol ediciye göre daha iyi olduğu bulunmuştur.

Völker vd. (2007), bir pilot ölçekli metil asetat esterleşme tepkime örneği olarak kullanılarak, bir yarı-kesikli tepkimeli damıtma kolonu için çok değişkenli kontrol edici tasarlamışlar. Kontrol yapısında geri akış oranı ve asetik asit beslemesi ayarlanabilen değişkenler ve metil asetat ve su bileşimleri kontrol değişkenleri olmak üzere seçilmiştir. Plant için doğrusal bir model seçilmiştir ve model parametreleri, deneysel veriler yardımıyla, sistem tanımlama yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Seçilen model kontrol yapısı için en uygun ulaşılabilir kontrol performansı hesaplamak için kullanılmıştır. Kontrol edici deneysel olarak doğrulanmıştır. Deneyden elde edilen sonuçlardan kontrol edicinin iyi performansı gösterilmiştir.

Kumar ve Kaistha (2008), sıcaklık/kompozisyon kontrol döngülerinde klasik PI kontrol edicileri kullanarak farklı kontrol yapılarının önermiştir ve merkez olmayan kontrol üzerinde çalışmışlardır. Kontrol yapısını belirlemek için yatışkın hal duyarlılık analizi kullanılmıştır. Sonunda, iki nokta yapıları bazı durumlarda başarısız iken, üç nokta yapısı etkili ürün saflık korumak için mümkün olduğu keşfedilmiştir.

Venkateswarlu ve Reddy (2008), doğrusal olmayan model öngörmeli kontrol (NMPC) geliştirmek için stokastik optimizasyon algoritmaları ile polinom tipi ampirik proses modelini kullanmışlardır. Önerilen kontrol edicinin performansı değerlendirmek için bir tek girdi – tek çıktı (SISO) olan esterleşme reaksiyonu kullanılmıştır. Çalışmada, her aşamadaki akımda fiziksel denge olduğu varsayılmıştır. Elde edilen sonuçlardan, stokastik optimizasyon esaslı model öngörmeli kontrolünün klasik oransal-integral (PI) kontrol edici, doğrusal model öngörmeli kontrol edici (LMPC) ve sıralı karesel programlama dayalı NMPC (SQP)’ye göre daha iyi performansı olduğu ortaya çıkmıştır.

Jana ve Adari (2009), etanol ve asetik asitten etil asetat üreten bir kesikli damıtma kolonuu için generik model kontrol (GMC) edici ve uyarlanabilir hal estimatör (ASE) oluşan bir ileri adaptif kontrol önermişlerdir. Bu çalışmada, buhar-sıvı denge için Raoult yasası kabul edilmiştir. GMC-ASE kontrol kanunu işlem boyunca sıkı bir kompozisyon kontrolü sağlamak için mümkün olduğu tespit edilmiştir.

Kumar ve Kaistha (2009), Roat vd. (1986) tarafından önerilen bir metil asetat tepkimeli damıtma (RD) kolonu, bir iki-sıcaklığı kontrol yapısı kolonun girişler arasında üç farklı konfigürasyonlarda oran kontrol edicileri dahil ederek modifiye etmişlerdir. Sıvı ürün saflığı kontrolü elde etmek için iki beslemenin kazan ısısına göre oran olarak beslenmesi gerekmektedir.

Kathel ve Jana (2010), bir kesikli damıtma kolonu için doğrusal olmayan bir model esaslı kontrol algoritması önermişlerdir. Önerilen kontrol şeması bir GMC kontrol edici ve bir hal tahmin edici oluşmaktadır. Bu çalışmada, örnek proses olarak butil asetat üretimi kullanılmıştır. Önerilen kontrol algoritmanın performansını incelemek için çeşitli deneysel simülasyon yapılmıştır. Karşılaştırmak amacıyla, ideal genel model kontrol edici (GMC) kontrol edici de tasarlanmıştır. Ancak, ideal GMC düzeni daha iyi performans gösterdiği bulunmuştur.

Prakash vd. (2011), bir homojen katalizörlü esterleşme reaksiyonu kullanarak kesikli tepkime damıtma kolonunun simülasyonu için bir yapay sinir ağı (YSA) esaslı doğrusal olmayan kontrol algoritmasını önermişlerdir. Proses operasyonu başlangıç aşamasında toplam geri akma oranı koşullarda simüle edilmiştir. Bir YSA esaslı hal belirleyici ve GMC kanunu oluşan bir nöro-tahmincisi esaslı genel model kontrol edici (GMC), oluşturulmuştur. Önerilen kontrol kanunu örnek proses üzerinde test edilmiştir ve performansı bir kazanç-planlanmış oransal integral (GSPI) kontrol edici ile karşılaştırılmıştır. Geliştirilmiş YSA esaslı GMC GSPI'ye göre iyi performans sağlamıştır.

İncelenen literatürlerin ışığı altında, bu çalışmada, çok değişkenli ayırımı model öngörmeli sistemi etil asetat verimini tepkimeli damıtma %70'den %80'lere çıkarmak amacıyla araştırmalar yapılmıştır. Çok değişkenli ayırımı model öngörmeli kontrol ile literatürdeki kontrolün eksik noktaları aydınlatılacaktır.

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

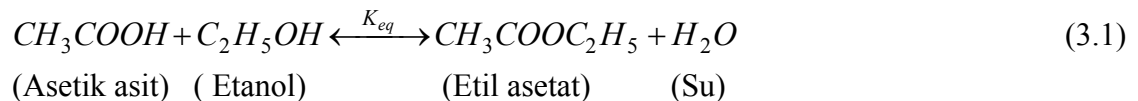
3.1 Materyal

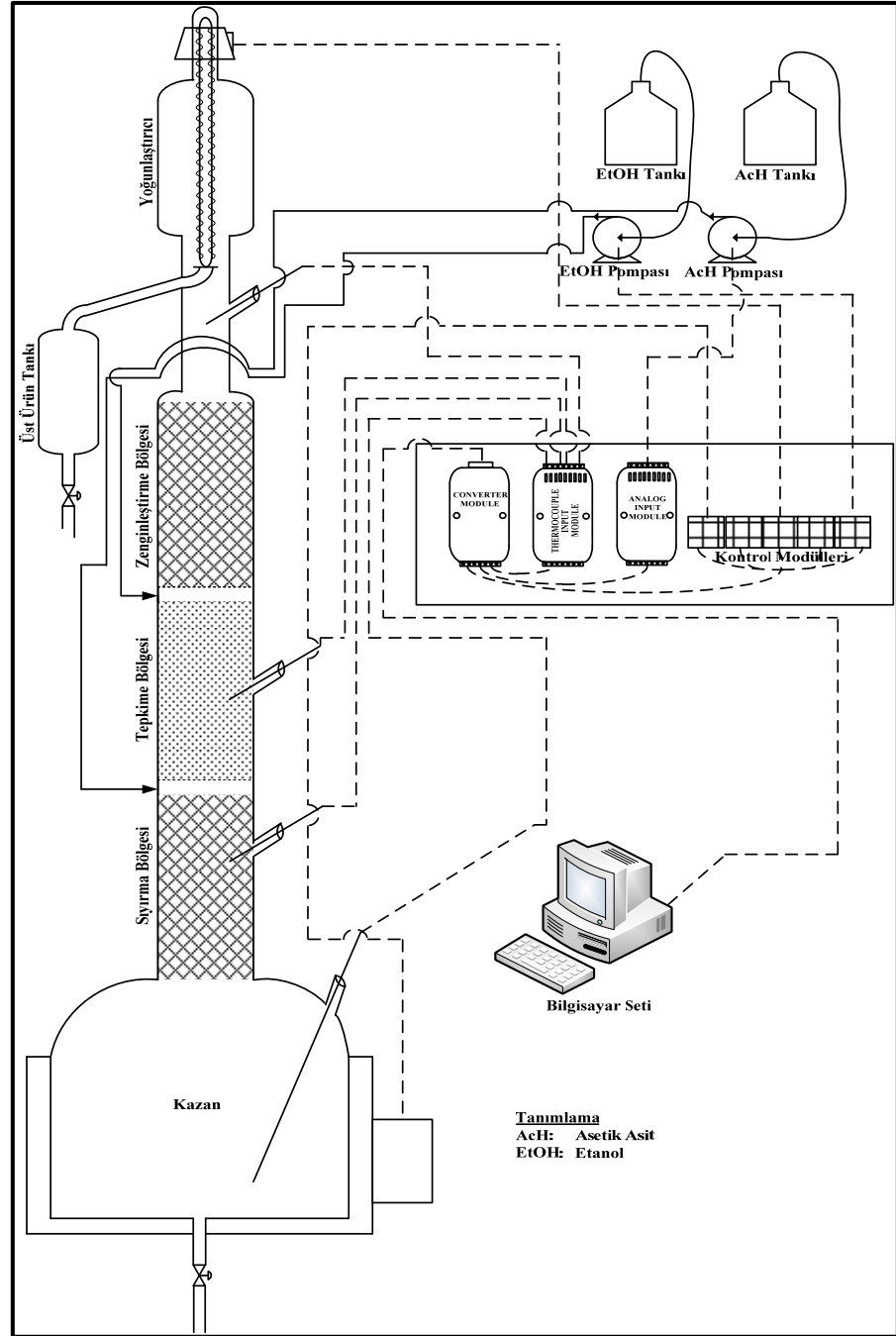
Deneyisel çalışmalarda Sigma Aldrich asetik asit (%100 saflık) ve etanol (mutlak saflık) kullanılmıştır. Aspen tarafından oluşturulmuş “HYSYS 3.2” programı, “Super Logics” tarafından yapılan elektronik kontrol modülleri ve MathWorks tarafından oluşturulan MATLAB programı ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Üstelik, numunelerin analizi için ThermoFinnigan markalı Gaz Kromatografi – Kütle Spektrometresi (GC-MS) kullanılmıştır.

3.2 Yöntem

3.2.1 Deney yöntemi

Deneylerin yapıldığı deney sistemi şekil 3.1 (çizim olarak) ve 3.2 (resim olarak)’de verilmiştir. Sistemin yüksekliği ve çapı sırasıyla 150 ve 5 cm’dir. Sistem, yoğunlaştırıcı, zenginleştirme bölgesi, tepkime bölgesi, sıyırma bölgesi ve kazan içermektedir. İki tane besleme hat tepkime bölgesine girmektedir. Tepkime bölgesi “Amberlyst 15” katalizörü ile doldurulmuştur. Tepkime sonucu oluşan maddeleri birbirinden ayırmak amacıyla zenginleştirme ve sıyırma bölgeleri “raschig” halkalı dolgu maddeleri ile doldurulmuştur. Alt bölge olan sıyırma bölgesi asetik asidi diğer bileşenlerden ayırmak için, üst ürün olan zenginleştirme bölgesi ise etil asetatı diğer bileşenlerden ayırmak için kullanılmıştır. Üst ve alt ürünler almak için iki tank kullanılmıştır. Kolonun reaksiyon bölgesi, zenginleştirme ve tepe bölgelerindeki sıcaklıkları ölçmek için 3 tane ısı çifti kullanılmıştır. Bu sıcaklık değerleri okunarak “on-line” olarak bilgisayara denetim modülleri (EK 6’da gösterilidği gibi) tarafından aktarılmıştır. Ayrıca, geri akma oranını, kazana verilen ısı yükünü ve kolona beslemeyi yapan olan peristaltik pompaların akış hızlarını bilgisayardan ayarlanması amacı ile denetim modülleri kullanılmıştır. Bu modüller, bilgisayara bağlanmıştır ve sistem ile bilgisayar arasındaki veri alışverişlerini, MATLAB (EK 7’de verilmek üzere) ortamında yazılmış olan program tarafından, sağlamıştır. Deney sisteminde gerçekleşen tepkime şöyle yazılır:





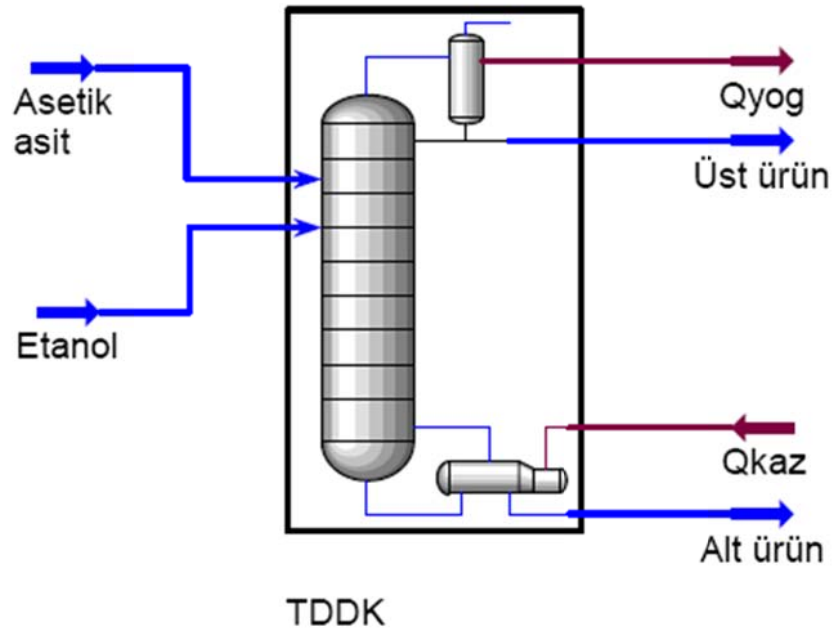
Şekil 3.1 Tepkimeli dolgulu damıtma kolonu deney sisteminin çizim görünüşü



Şekil 3.2 Tepkimeli dolgu damıtma kolonu deney sisteminin resim görünüşü

3.2.2 İşletim koşulları ve parametreleri belirlenmesi

Bu çalışmadaki tepkimeli dolgulu damıtma kolonunun işletim koşulları ve parametrelerini belirlemek için HYSYS 3.2 tarafından ve simülasyon ile Ardışık Kuadratik Programlama (SQP) optimizasyon yöntemiyle yapılmıştır. Yukarıdaki gösterilen deney sistemin prototipi model olarak HYSYS 3.2 ortamında kurulmuştur ve simüle edilmiştir. Simülasyon için kurulan HYSYS modeli şekil 3.3’de gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Tepkimeli dolgulu damıtma kolonunun simülasyon için HYSYS modeli

HYSYS modelinin simülasyonu için kullanılan parametreler aşağıdaki çizelge 3.1’de görünmektedir.

Çizelge 3.1 HYSYS benzetim parametreleri

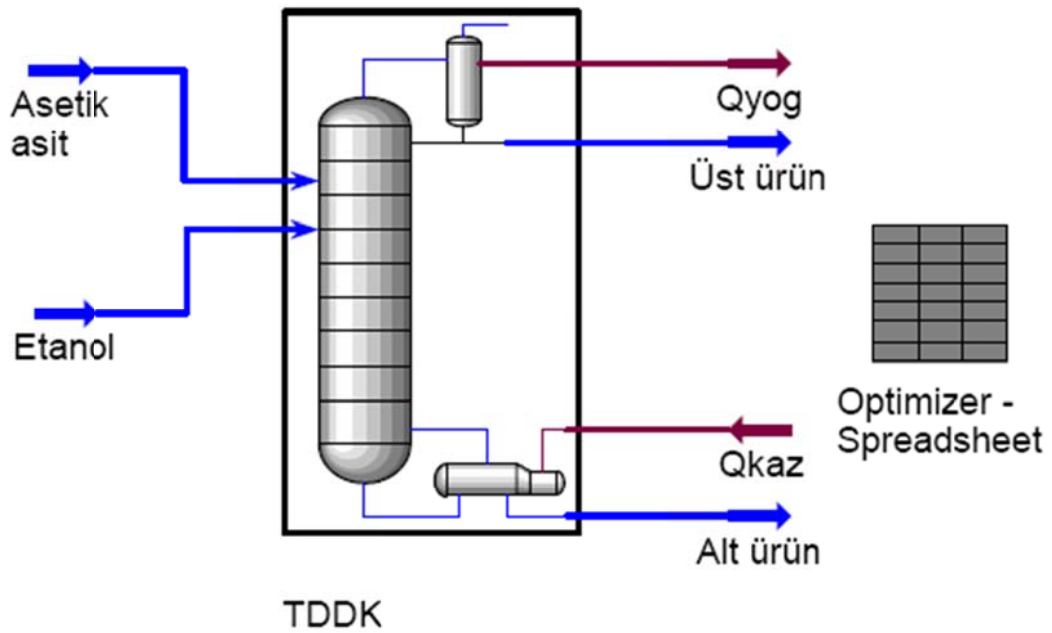
Parametre	Değer
Akışkan paketi	Genel NRTL
Geri akma oranı (kmol s^{-1} geri akan sıvı/ kmol s^{-1} sıvı üst ürün)	1
Besleme oranı (mL s^{-1} asetik asit/ mL s^{-1} etanol)	1
Kazan ısısı, kJ/s	0.250
Yoğunlaştırıcı Birimi	
Tip	Silindirik
Yükseklik, m	0.225
Çap, m	0.05
Zenginleştirme Bölgesi	
Dolgu tipi	Raschig halkası
Yükseklik, m	0.4412
Asetik Asit Besleme Bölgesi	
Dolgu tipi	Raschig halkası
Yükseklik, m	0.0882
Tepkime Bölgesi	
Dolgu tipi	Amberlyst 15
Yükseklik, m	0.4412
Etanol Besleme Bölgesi	
Dolgu tipi	Raschig halkası
Yükseklik, m	0.0882
Sıyırma Bölgesi	
Dolgu tipi	Raschig halkası
Yükseklik, m	0.4412
Kazan Bölgesi	
Tip	Küresel
Hacim, L	3
Seviye	50%

HYSYS simülasyon modeli çalıştırıldıktan sonra, aynı koşullarda deney sistemi de çalıştırıldı ve HYSYS modelinin sistemi iyice temsil ettiği ispat edildikten sonra HYSYS modelinin üzerinde optimizasyon yapılmıştır.

HYSYS ortamında optimizasyon yapmak simülasyon modelinin üzerine optimizasyon paleti eklenmiştir. Üst ürün mol kesrinin maksimum olması optimizasyonun amaç fonksiyonu seçilmiştir. Optimizasyon model şekil 3.4’de görülmektedir.

Çizelge 3.2 Optimizasyon parametreleri

Parametre	Alt Sınır	Üst sınır
Geri akma oranı (kmol s^{-1} geri akan sıvı/ kmol s^{-1} sıvı üst ürün)	1	9
Besleme oranı (mL s^{-1} asetik asit / mL s^{-1} etanol)	0.5	5
Kazan ısısı (kJ/s)	0.050	0.600



Şekil 3.4 Tepkimeli dolgulu damıtma kolonunun optimizasyon için HYSYS modeli

Aynı şekilde, HYSYS optimizasyonu yapıldıktan sonra, deneysel olarak da elde edilen optimizasyon sonuçları kullanılarak optimizasyon sonuçları doğrulamak amacıyla deney yapılmıştır.

3.2.3 Kuramsal modellerinin kurulması ve çözülmesi

3.2.3.1 Kuramsal modellerinin kurulması

Kuramsal olarak tepkimeli dolgulu damıtma kolonu için modellerin oluşturulması aşağıdaki gösterildiği gibidir.

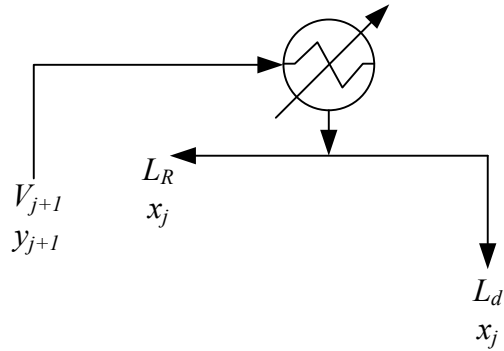
3.2.3.1.1 Varsayımlar

Kuramsal modelleri kurulurken kullanılan varsayımlar şöyledir;

- (1) Her kolonun biriminde tam karışmanın olduğu;
- (2) Yoğunlaştırıcı, kazan ve besleme kademelerinin dengede olduğu;
- (3) Kolon boyunca buhar akış hızının sabit olduğu;
- (4) Her birimde molar birikim ("hold-up")'in sabit olduğu;
- (5) Her kolonun biriminde sıvı akış hızının sabit olduğu.

3.2.3.1.2 Model geliştirme

3.2.3.1.2.1 Yoğunlaştırıcı bölgesi



Şekil 3.5 Yoğunlaştırıcı birimi

$j = 1$ için,

$$\frac{dM_j}{dt} = V_{j+1} - L_d - L_R \quad (3.2)$$

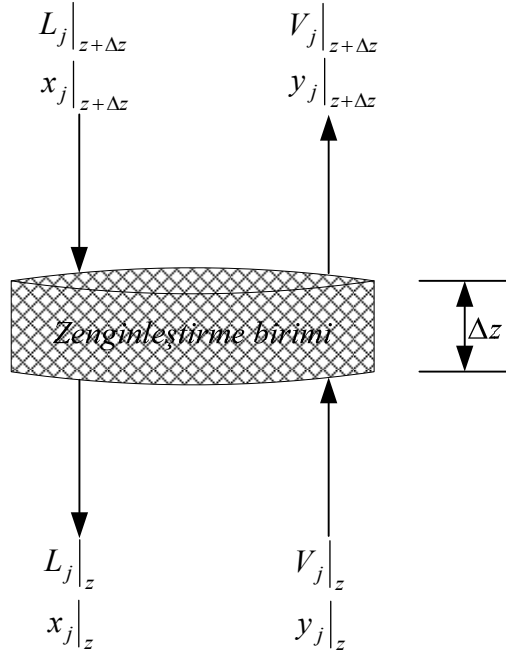
$$\frac{d(M_j x_j)}{dt} = V_{j+1} y_{j+1} - L_d x_j - L_R x_j \quad (3.3)$$

$$M_j \frac{dx_j}{dt} = V_{j+1}y_{j+1} - L_d x_j - L_R x_j \quad (3.4)$$

$$\frac{dx_j}{dt} = \frac{V_{j+1}y_{j+1} - L_d x_j - L_R x_j}{M_j} \quad (3.5)$$

$$\frac{dx_j}{dt} = \frac{V_{j+1}y_{j+1} - (L_d + L_R)x_j}{M_j} \quad (3.6)$$

3.2.3.1.2.2 Zenginleştirme bölgesi



Şekil 3.6 Zenginleştirme birimi

$j = 2 : nfa - 1$ için,

$$\frac{dM_j}{dt} = L_j|_{z+\Delta z} + V_j|_z - L_j|_z - V_j|_{z+\Delta z} \quad (3.7)$$

Sıvı faz için,

$$\frac{\Delta(M_j' x_j) \Delta z}{\Delta t} = L_j \Big|_{z+\Delta z} x_j \Big|_{z+\Delta z} - L_j \Big|_z x_j \Big|_z - k_y a A_c \Delta z (y_j^* - y_j) \quad (3.8)$$

$$\frac{\Delta(M_j' x_j) \Delta z}{\Delta t} = L_j x_j \Big|_{z+\Delta z} - L_j x_j \Big|_z - k_y a A_c \Delta z (y_j^* - y_j) \quad (3.9)$$

$$\frac{\Delta(M_j' x_j)}{\Delta t} = \frac{L_j x_j \Big|_{z+\Delta z} - L_j x_j \Big|_z}{\Delta z} - \frac{k_y a A_c \Delta z (y_j^* - y_j)}{\Delta z} \quad (3.10)$$

$$\frac{\Delta(M_j' x_j)}{\Delta t} = \frac{L_j x_j \Big|_{z+\Delta z} - L_j x_j \Big|_z}{\Delta z} - k_y a A_c (y_j^* - y_j) \quad (3.11)$$

Δz sıfıra yaklaşırken limit alınınca,

$$\frac{\partial(M_j' x_j)}{\partial t} = \frac{\partial(L_j x_j)}{\partial z} - k_y a A_c (y_j^* - y_j) \quad (3.12)$$

$$M_j' \frac{\partial x_j}{\partial t} = L_j \frac{\partial x_j}{\partial z} - k_y a A_c (y_j^* - y_j) \quad (3.13)$$

$$\frac{\partial x}{\partial t} = \frac{1}{M_j'} \left(L_j \frac{\partial x_j}{\partial z} - k_y a A_c (y_j^* - y_j) \right) \quad (3.14)$$

Buhar faz için,

$$0 = V_j \Big|_z y_j \Big|_z - V_j \Big|_{z+\Delta z} y_j \Big|_{z+\Delta z} + k_y a A_c \Delta z (y_j^* - y_j) \quad (3.15)$$

$$0 = V_j y_j \Big|_z - V_j y_j \Big|_{z+\Delta z} + k_y a A_c \Delta z (y_j^* - y_j) \quad (3.16)$$

$$0 = \frac{V_j y_j \Big|_z - V_j y_j \Big|_{z+\Delta z}}{\Delta z} + \frac{k_y a A_c \Delta z (y_j^* - y_j)}{\Delta z} \quad (3.17)$$

$$0 = \frac{V_j y_j|_z - V_j y_j|_{z+\Delta z}}{\Delta z} + k_y a A_c (y_j^* - y_j) \quad (3.18)$$

Aynı şekilde, Δz sıfıra yaklaşırken limit alınınca,

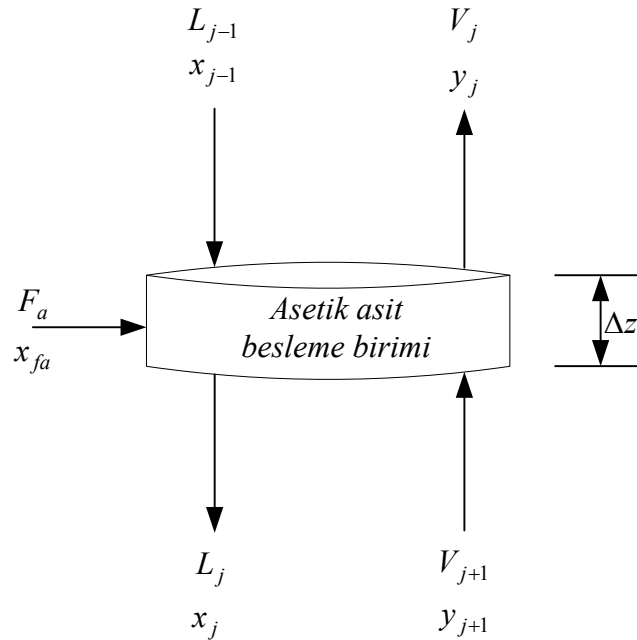
$$0 = -\frac{\partial(V_j y_j)}{\partial z} + k_y a A_c (y_j^* - y_j) \quad (3.19)$$

$$0 = -V_j \frac{\partial y_j}{\partial z} + k_y a A_c (y_j^* - y_j) \quad (3.20)$$

$$V_j \frac{\partial y_j}{\partial z} = k_y a A_c (y_j^* - y_j) \quad (3.21)$$

$$\frac{\partial y_j}{\partial z} = \frac{k_y a A_c}{V_j} (y_j^* - y_j) \quad (3.22)$$

3.2.3.1.2.3 Asetik asit besleme bölgesi



Şekil 3.7 Asetik asit besleme birimi

$j = nfa$ için,

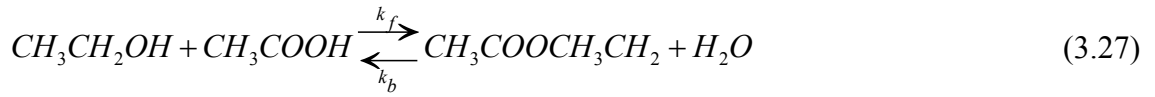
$$\frac{dM_j}{dt} = L_{j-1} + V_{j+1} + F_a - L_j - V_j \quad (3.23)$$

$$\frac{d(M_j x_j)}{dt} = L_{j-1} x_{j-1} + V_{j+1} y_{j+1} + F_a x_{fa} - L_j x_j - V_j y_j \quad (3.24)$$

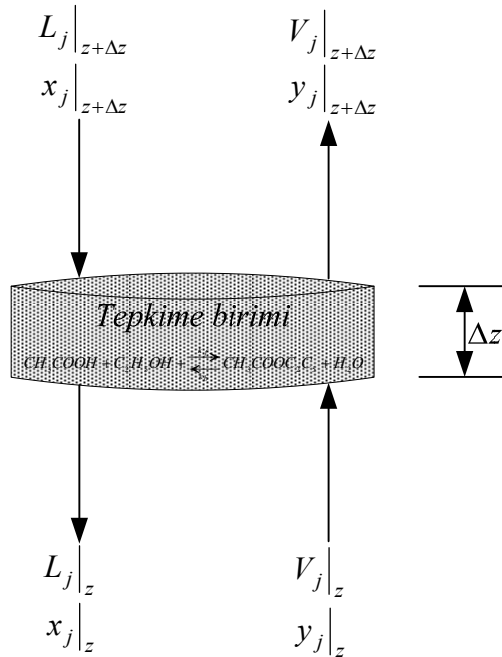
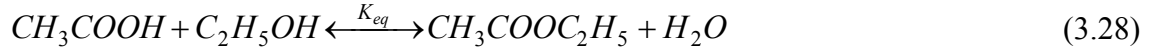
$$M_j \frac{dx_j}{dt} = L_{j-1} x_{j-1} + V_{j+1} y_{j+1} + F_a x_{fa} - L_j x_j - V_j y_j \quad (3.25)$$

$$\frac{dx_j}{dt} = \frac{L_{j-1} x_{j-1} + V_{j+1} y_{j+1} + F_a x_{fa} - L_j x_j - V_j y_j}{M_j} \quad (3.26)$$

3.2.3.1.2.4 Tepkime bölgesi



ya da şöyle gösterebilir,



Şekil 3.8 Tepkime birimi

$j = nfa + 1 : nfe - 1$ için,

$$\frac{dM_j}{dt} = L_j \Big|_{z+\Delta z} + V_j \Big|_z - L_j \Big|_z - V_j \Big|_{z+\Delta z} + r'_j W_j \quad (3.29)$$

Sıvı faz için,

$$\frac{\Delta(M'_j x_j) \Delta z}{\Delta t} = L_j \Big|_{z+\Delta z} x_j \Big|_{z+\Delta z} - L_j \Big|_z x_j \Big|_z - k_y a A_c \Delta z (y_j^* - y_j) + r'_j W_j \Delta z \quad (3.30)$$

$$\frac{\Delta(M'_j x_j) \Delta z}{\Delta t} = L_j x_j \Big|_{z+\Delta z} - L_j x_j \Big|_z - k_y a A_c \Delta z (y_j^* - y_j) + r'_j W_j \Delta z \quad (3.31)$$

$$\frac{\Delta(M'_j x_j)}{\Delta t} = \frac{L_j x_j \Big|_{z+\Delta z} - L_j x_j \Big|_z}{\Delta z} - \frac{k_y a A_c \Delta z (y_j^* - y_j)}{\Delta z} + \frac{r'_j W_j \Delta z}{\Delta z} \quad (3.32)$$

$$\frac{\Delta(M'_j x_j)}{\Delta t} = \frac{L_j x_j \Big|_{z+\Delta z} - L_j x_j \Big|_z}{\Delta z} - k_y a A_c (y_j^* - y_j) + r'_j W_j \quad (3.33)$$

Δz sıfıra yaklaşırken limit alınınca

$$\frac{\partial(M'_j x_j)}{\partial t} = \frac{\partial(L_j x_j)}{\partial z} - k_y a A_c (y_j^* - y_j) + r'_j W_j \quad (3.34)$$

$$M'_j \frac{\partial x_j}{\partial t} = L_j \frac{\partial x_j}{\partial z} - k_y a A_c (y_j^* - y_j) + r'_j W_j \quad (3.35)$$

$$\frac{\partial x_j}{\partial t} = \frac{1}{M'_j} \left(L_j \frac{\partial x_j}{\partial z} - k_y a A_c (y_j^* - y_j) + r'_j W_j \right) \quad (3.36)$$

Buhar faz için,

$$0 = V_j \Big|_z y_j \Big|_z - V_j \Big|_{z+\Delta z} y_j \Big|_{z+\Delta z} + k_y a A_c \Delta z (y_j^* - y_j) \quad (3.37)$$

$$0 = V_j y_j \Big|_z - V_j y_j \Big|_{z+\Delta z} + k_y a A_c \Delta z (y_j^* - y_j) \quad (3.38)$$

$$0 = \frac{V_j y_j \Big|_z - V_j y_j \Big|_{z+\Delta z}}{\Delta z} + \frac{k_y a A_c \Delta z (y_j^* - y_j)}{\Delta z} \quad (3.39)$$

$$0 = \frac{V_j y_j \Big|_z - V_j y_j \Big|_{z+\Delta z}}{\Delta z} + k_y a A_c (y_j^* - y_j) \quad (3.40)$$

Δz sıfıra yaklaşırken limit alınınca,

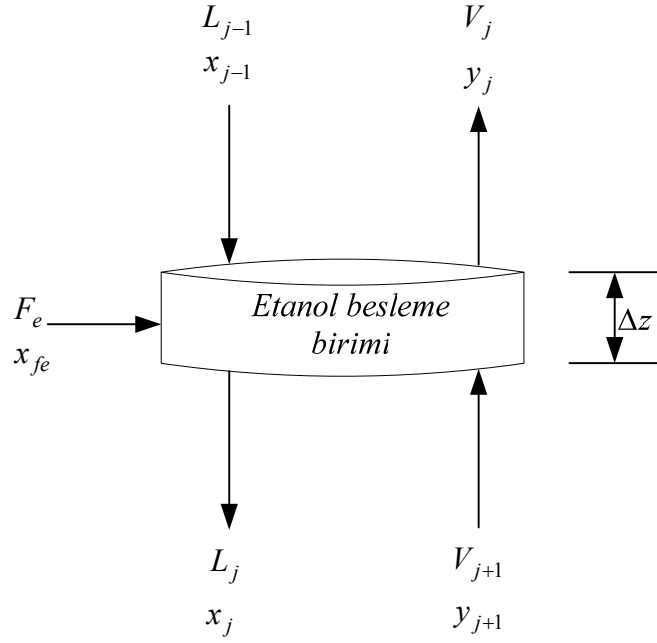
$$0 = -\frac{\partial(V_j y_j)}{\partial z} + k_y a A_c (y_j^* - y_j) \quad (3.41)$$

$$0 = -V_j \frac{\partial y_j}{\partial z} + k_y a A_c (y_j^* - y_j) \quad (3.42)$$

$$V_j \frac{\partial y_j}{\partial z} = k_y a A_c (y_j^* - y_j) \quad (3.43)$$

$$\frac{\partial y_j}{\partial z} = \frac{k_y a A_c}{V_j} (y_j^* - y_j) \quad (3.44)$$

3.2.3.1.2.5 Etanol besleme bölgesi



Şekil 3.9 Etanol besleme birimi

$j = n_{fe}$ için,

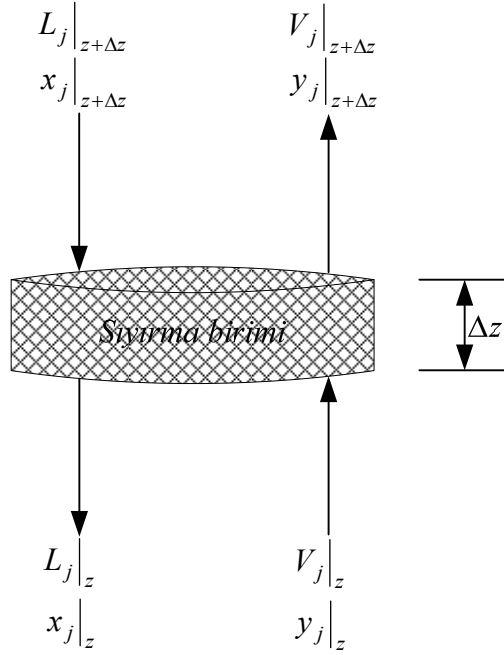
$$\frac{dM_j}{dt} = L_{j-1} + V_{j+1} + F_e - L_j - V_j \quad (3.45)$$

$$\frac{d(M_j x_j)}{dt} = L_{j-1} x_{j-1} + V_{j+1} y_{j+1} + F_e x_{fe} - L_j x_j - V_j y_j \quad (3.46)$$

$$M_j \frac{dx_j}{dt} = L_{j-1} x_{j-1} + V_{j+1} y_{j+1} + F_e x_{fe} - L_j x_j - V_j y_j \quad (3.47)$$

$$\frac{dx_j}{dt} = \frac{L_{j-1} x_{j-1} + V_{j+1} y_{j+1} + F_e x_{fe} - L_j x_j - V_j y_j}{M_j} \quad (3.48)$$

3.2.3.1.2.6 Sıyırma bölgesi



Şekil 3.10 Sıyırma birimi

$j = nfe + 1 : n - 1$ için,

$$\frac{dM_j}{dt} = L_j|_{z+\Delta z} + V_j|_z - L_j|_z - V_j|_{z+\Delta z} \quad (3.49)$$

Sıvı faz için,

$$\frac{\Delta(M'_j x_j) \Delta z}{\Delta t} = L_j|_{z+\Delta z} x_j|_{z+\Delta z} - L_j|_z x_j|_z - k_y a A_c \Delta z (y_j^* - y_j) \quad (3.50)$$

$$\frac{\Delta(M'_j x_j) \Delta z}{\Delta t} = L_j x_j|_{z+\Delta z} - L_j x_j|_z - k_y a A_c \Delta z (y_j^* - y_j) \quad (3.51)$$

$$\frac{\Delta(M'_j x_j)}{\Delta t} = \frac{L_j x_j|_{z+\Delta z} - L_j x_j|_z}{\Delta z} - \frac{k_y a A_c \Delta z (y_j^* - y_j)}{\Delta z} \quad (3.52)$$

$$\frac{\Delta(M_j' x_j)}{\Delta t} = \frac{L_j x_j|_{z+\Delta z} - L_j x_j|_z}{\Delta z} - k_y a A_c (y_j^* - y_j) \quad (3.53)$$

Δz sıfıra yaklaşırken limit alınınca,

$$\frac{\partial(M_j' x_j)}{\partial t} = \frac{\partial(L_j x_j)}{\partial z} - k_y a A_c (y_j^* - y_j) \quad (3.54)$$

$$M_j' \frac{\partial x_j}{\partial t} = L_j \frac{\partial x_j}{\partial z} - k_y a A_c (y_j^* - y_j) \quad (3.55)$$

$$\frac{\partial x_j}{\partial t} = \frac{1}{M_j'} \left(L_j \frac{\partial x_j}{\partial z} - k_y a A_c (y_j^* - y_j) \right) \quad (3.56)$$

Buhar faz için,

$$0 = V_j|_z y_j|_z - V_j|_{z+\Delta z} y_j|_{z+\Delta z} + k_y a A_c \Delta z (y_j^* - y_j) \quad (3.57)$$

$$0 = V_j y_j|_z - V_j y_j|_{z+\Delta z} + k_y a A_c \Delta z (y_j^* - y_j) \quad (3.58)$$

$$0 = \frac{V_j y_j|_z - V_j y_j|_{z+\Delta z}}{\Delta z} + \frac{k_y a A_c \Delta z (y_j^* - y_j)}{\Delta z} \quad (3.59)$$

$$0 = \frac{V_j y_j|_z - V_j y_j|_{z+\Delta z}}{\Delta z} + k_y a A_c (y_j^* - y_j) \quad (3.60)$$

Δz sıfıra yaklaşırken limit alınınca,

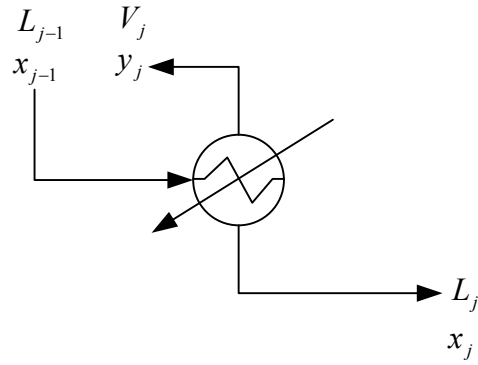
$$0 = -\frac{\partial(V_j y_j)}{\partial z} + k_y a A_c (y_j^* - y_j) \quad (3.61)$$

$$0 = -V_j \frac{\partial y_j}{\partial z} + k_y a A_c (y_j^* - y_j) \quad (3.62)$$

$$V_j \frac{\partial y_j}{\partial z} = k_y a A_c (y_j^* - y_j) \quad (3.63)$$

$$\frac{\partial y_j}{\partial z} = \frac{k_y a A_c}{V_j} (y_j^* - y_j) \quad (3.64)$$

3.2.3.1.2.7 Kazan



Şekil 3.11 Kazan birimi

$j = n$ için,

$$\frac{dM_j}{dt} = L_{j-1} - L_j - V_j \quad (3.65)$$

$$\frac{d(M_j x_j)}{dt} = L_{j-1} x_{j-1} - L_j x_j - V_j y_j \quad (3.66)$$

$$M_j \frac{dx_j}{dt} = L_{j-1} x_{j-1} - L_j x_j - V_j y_j \quad (3.67)$$

$$\frac{dx_j}{dt} = \frac{L_{j-1} x_{j-1} - L_j x_j - V_j y_j}{M_j} \quad (3.68)$$

Ayrıca, denge ilişkileri şöyle verilmektedir:

$$y_i = K_i x_i \quad (3.69)$$

$$\sum_{i=1}^m y_i = 1 \quad (3.70)$$

$$\sum_{i=1}^m x_i = 1 \quad (3.71)$$

3.2.3.2 Kuramsal modellerinin çözülmesi

Yukarıda görüldüğü üzere, tepkimeli dolgulu damıtma kolonunun kurulan modelleri hem adi diferansiyel hem de kısmi diferansiyel denklemleri içermektedir. Bu modelleri çözmek için, önce modellerdeki kısmi diferansiyel denklemler geri-farkı yaklaşımı, Fausett (2003)’te ve Denklem (3.72)’de verildiği gibi, ile adi diferansiyel denklemlere dönüştürülmüştür. Ondan sonra, elde edilen toplu adi diferansiyel denklemler “MATLAB”taki ode15s komutu kullanılarak çözülmüştür.

$$\frac{\partial x_j}{\partial z} = \frac{x_j - x_{j-1}}{\Delta z} \quad (3.72)$$

Modellerin çözümleri için akış hızları, entalpiler, kütle transfer katsayısı ve diğer hesaplamaları EK 2’de yer almıştır. Ayrıca, çözümler için kullanılan MATLAB kodları EK 3’te verilmiştir.

Bu çalışmadaki kurulan kuramsal modeller sistemin dinamik davranışlarını incelemek için kullanılmıştır. Sistemin dinamik davranışları incelerken, modellerin çözülmesi çok zaman aldığı ortaya çıkmıştır. Bu tip modeller kontrol algoritması için plant olarak kullanılması biraz sorun olabilmektedir. Bu nedenle, plant modeli olarak sistem tanımlama yöntemiyle kurulan modeller kullanılmıştır.

3.2.4 Proses tanımlama

Tepkimeli dolgulu damıtma sistemi tanımlama için, deney sisteminden elden edilen veriler kullanılmıştır. Bu sistem tanımlamanın verileri için yapılan deneyin koşulları Çizelge 3.3’te görülmektedir.

Çizelge 3.3 Proses tanımlama deneyinin koşulları

#	Parameter	Sinyal tipi	Alt sınır	Üst sınır
1	Geri akma oranı ((kmol/s geri akan sıvı)/(kmol/s sıvı üst ürün))	Basamak	3	5
2	Besleme oranı ((mL/s asetik asit)/(mL/s etanol))	PRBS	0.5	2
3	Kazan ısısı (kJ/s)	PRBS	0.595	0.63

Sistemin tanımlanması, “MATLAB”taki “System Identification Toolbox” tarafından *pem* komutu yardımıyla gerçekleştirilmiştir. İstenilen modelin yapısı şöyle verilmektedir.

$$T_{üst}(s) = \frac{k_{p_{1,1}} e^{(-T_{d_{1,1}}s)}}{\tau_{p_{1,1}}s + I} R(s) + \frac{k_{p_{1,2}} e^{(-T_{d_{1,2}}s)}}{\tau_{p_{1,2}}s + I} F(s) + \frac{k_{p_{1,3}} e^{(-T_{d_{1,3}}s)}}{\tau_{p_{1,3}}s + I} Q(s) \quad (3.73)$$

$$T_{tep}(s) = \frac{k_{p_{2,1}} e^{(-T_{d_{2,1}}s)}}{\tau_{p_{2,1}}s + I} R(s) + \frac{k_{p_{2,2}} e^{(-T_{d_{2,2}}s)}}{\tau_{p_{2,2}}s + I} F(s) + \frac{k_{p_{2,3}} e^{(-T_{d_{2,3}}s)}}{\tau_{p_{2,3}}s + I} Q(s) \quad (3.74)$$

$$T_{alt}(s) = \frac{k_{p_{3,1}} e^{(-T_{d_{3,1}}s)}}{\tau_{p_{3,1}}s + I} R(s) + \frac{k_{p_{3,2}} e^{(-T_{d_{3,2}}s)}}{\tau_{p_{3,2}}s + I} F(s) + \frac{k_{p_{3,3}} e^{(-T_{d_{3,3}}s)}}{\tau_{p_{3,3}}s + I} Q(s) \quad (3.75)$$

Model parametreleri hesaplandıktan sonra bulunan modeller kontrol algoritması için plant model olarak ve ayırıcıların hesaplanması için kullanılmıştır.

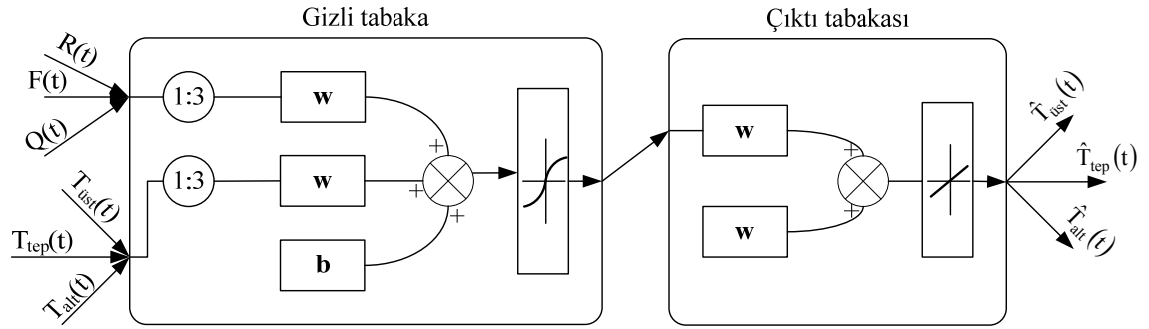
3.2.5 Yapay Sinir Ağı modelinin geliştirilmesi

Tepkimeli dolgulu damıtma kolonunun yapay sinir ağı modelini geliştirmek için kullanılan veriler tepkimeli dolgulu damıtma kolonunun pilot sisteminde yapılan deneylerden toplanmıştır. Deney koşulları aşağıdaki çizelge 3.4’te gösterilmektedir.

Çizelge 3.4 Yapay sinir ağı deneyi için deney koşulları

#	Parametre	Sinyal Tipi	Alt	Üst
1	Geri akma oranı ((kmol/s geri akan sıvı)/(kmol/s sıvı üst ürün))	PRBS	1	5
2	Besleme oranı ((mL/s asetik asit)/(mL/s etanol))	PRBS	1	2
3	Kazan ısısı (kJ/s)	PRBS	0.49	0.63

Tepkimeli dolgu damıtma kolonunun yapay sinir ağı modeli, elde edilen veriler kullanılarak, MATLAB'taki "Neural Network Toolbox" tarafından *nlarx* (doğrusal olmayan ARX modeli) komutu yardımıyla kurulmuştur. Bu modellerin kurulması için kullanılan MATLAB Kodları EK 4'te verilmiştir. Bu çalışmanın doğrusal olmayan ARX modeli şekil olarak aşağıda (Şekil 3.12'de) verilmektedir.



Şekil 3.12 Tepkimeli damıtma kolonunun doğrusal olmayan ARX modeli şekli

Ayrıca, modeller, üç ayrı denklem olarak yazılırsa, şöyle verilmektedir.

$$T_{üst}(t) = f(T_{üst}(t-1), T_{üst}(t-2), T_{üst}(t-3), \dots, R(t), R(t-1), R(t-2), \dots) \quad (3.76)$$

$$T_{tepp}(t) = f(T_{tepp}(t-1), T_{tepp}(t-2), T_{tepp}(t-3), \dots, F(t), F(t-1), F(t-2), \dots) \quad (3.77)$$

$$T_{alt}(t) = f(T_{alt}(t-1), T_{alt}(t-2), T_{alt}(t-3), \dots, Q(t), Q(t-1), Q(t-2), \dots) \quad (3.78)$$

f , doğrusal olmayan fonksiyonu, kısmı bu çalışmada yapay sinir ağı olarak seçilmiştir.

Yapay sinir ağı kullanılan parametreleri çizelge 3.5'te verilmektedir.

Çizelge 3.5 Yapay sinir ağı modeli formülleştirme parametreleri

#	Parametre	Tanımlama
1.	Girdi sayısı	2
2.	Çıktı sayısı	2
3.	Tabaka sayısı	2
4.	Nöron sayısı	5
5.	Gecikme sayısı	3
6.	Eğitim algoritması	Levenberg-Marquardt
7.	Eğitim verileri miktarı (%)	80
8.	Doğrulama verileri miktarı (%)	10
9.	Deneme verileri miktarı (%)	10

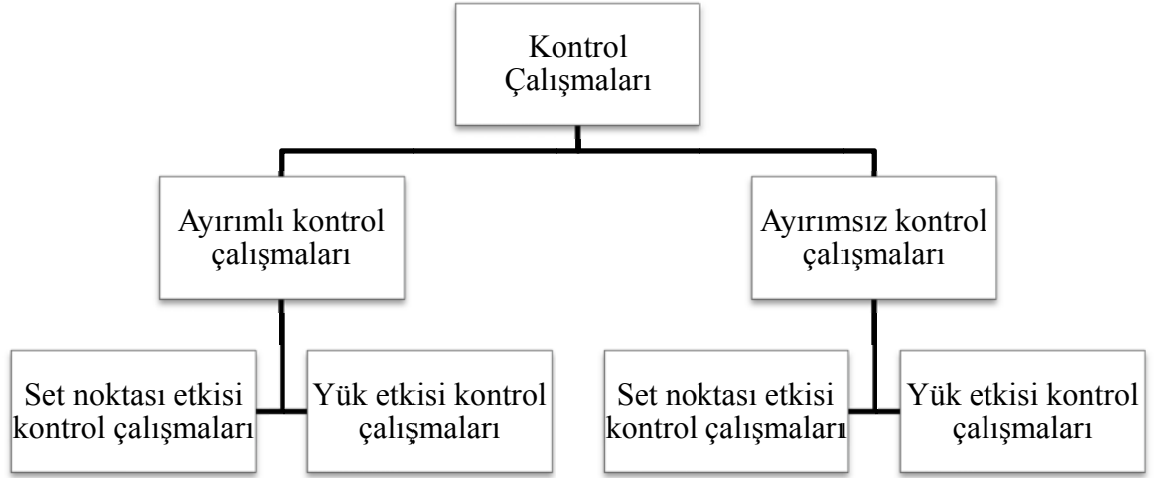
Bu bölümdeki oluşturulan yapay sinir ağı modeli bu çalışmanın kontrol algoritmasının oluşması için kontrol model olarak kullanılacaktır.

3.2.6 Kontrol algoritmalarının oluşturulması

Bu çalışmanın esas kontrol amacı “Ayırıklı Model Öngörmeli Kontrol”dür. Ancak karşılaştırma amacıyla başka kontrol yöntemleri de denenmiştir. Bu nedenle, bu çalışmada yapılan kontrol çalışmalar şöyle listeye geçirilmektedir:

- (1) Ayırıklı Model Öngörmeli Kontrol;
- (2) Ayırıklı Model Öngörmeli Kontrol;
- (3) Klasik (ayırıklı) PID Kontrol.

Yukarıdaki listeye geçirilmiş kontrol çalışmaların her biri hem set noktası etkisi hem de yük etkisi için denetlenmiştir. Böylece, kontrol çalışmaları bir şema olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır.



Şekil 3.13 Kontrol çalışmaları şeması

Bu çalışmadaki kontrol çalışması gerçekleştirmek için ayrımlı model öngörmeli kontrolü için ayırıcılar gerekir. Üstelik, PID kontrolü için ayarlama parametreleri gerekmektedir.

3.2.6.1 Kontrol parametrelerinin hesaplanması

3.2.6.1.1 Ayırıcıların hesaplanması

Bu çalışmadaki yapılan ayrımlı kontrol için gereken ayırıcılar, plant modeli göz önüne alınarak, aşağıdaki Denklem (3.79)'da gösterilen ifade kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\mathbf{K}_I = \begin{bmatrix} k_{p11} & k_{p12} & k_{p13} \\ k_{p21} & k_{p22} & k_{p23} \\ k_{p31} & k_{p32} & k_{p33} \end{bmatrix}^{-1} \quad (3.79)$$

3.2.6.1.2 PID kontrol parametrelerinin hesaplanması

PID kontrol edicinin iletim fonksiyonu Denklem 3.80’da gibi verilirse, PID kontrol parametreleri çizelge 3.6’da verilen ifadeler Cohen-Coon tekniği olmak üzere kullanılarak hesaplanmıştır.

$$G_c(s) = K_c \left(1 + \frac{1}{\tau_I s} + \tau_D s \right) \quad (3.80)$$

Çizelge 3.10’da gösterilen ifadeler uygulamak için tek girdi - tek çıktı proses modeller üst ürün sıcaklığı, tepkime bölgesi sıcaklığı ve alt bölge sıcaklığı için kurulmuştur. Kurulan modellerin yapısı aşağıdaki gibidir.

$$T_{üst}(s) = \frac{k_{p_1} e^{(-T_{d_1}s)}}{\tau_1 s + 1} R(s) \quad (3.81)$$

$$T_{tep}(s) = \frac{k_{p_2} e^{(-T_{d_2}s)}}{\tau_2 s + 1} F(s) \quad (3.82)$$

$$T_{alt}(s) = \frac{k_{p_3} e^{(-T_{d_3}s)}}{\tau_3 s + 1} Q(s) \quad (3.83)$$

Çizelge 3.6 PID kontrol parametreleri hesaplama förmülleri (Stephanopoulous 1984)

Parametre	Formül
K_c	$\frac{1}{k_p} \frac{\tau}{T_d} \left(\frac{4}{3} + \frac{T_d}{4\tau} \right)$
τ_I	$T_d \frac{32 + 6T_d/\tau}{13 + 8T_d/\tau}$
τ_D	$T_d \frac{4}{11 + 2T_d/\tau}$

3.2.6.2 Kontrol sisteminin oluşturulması

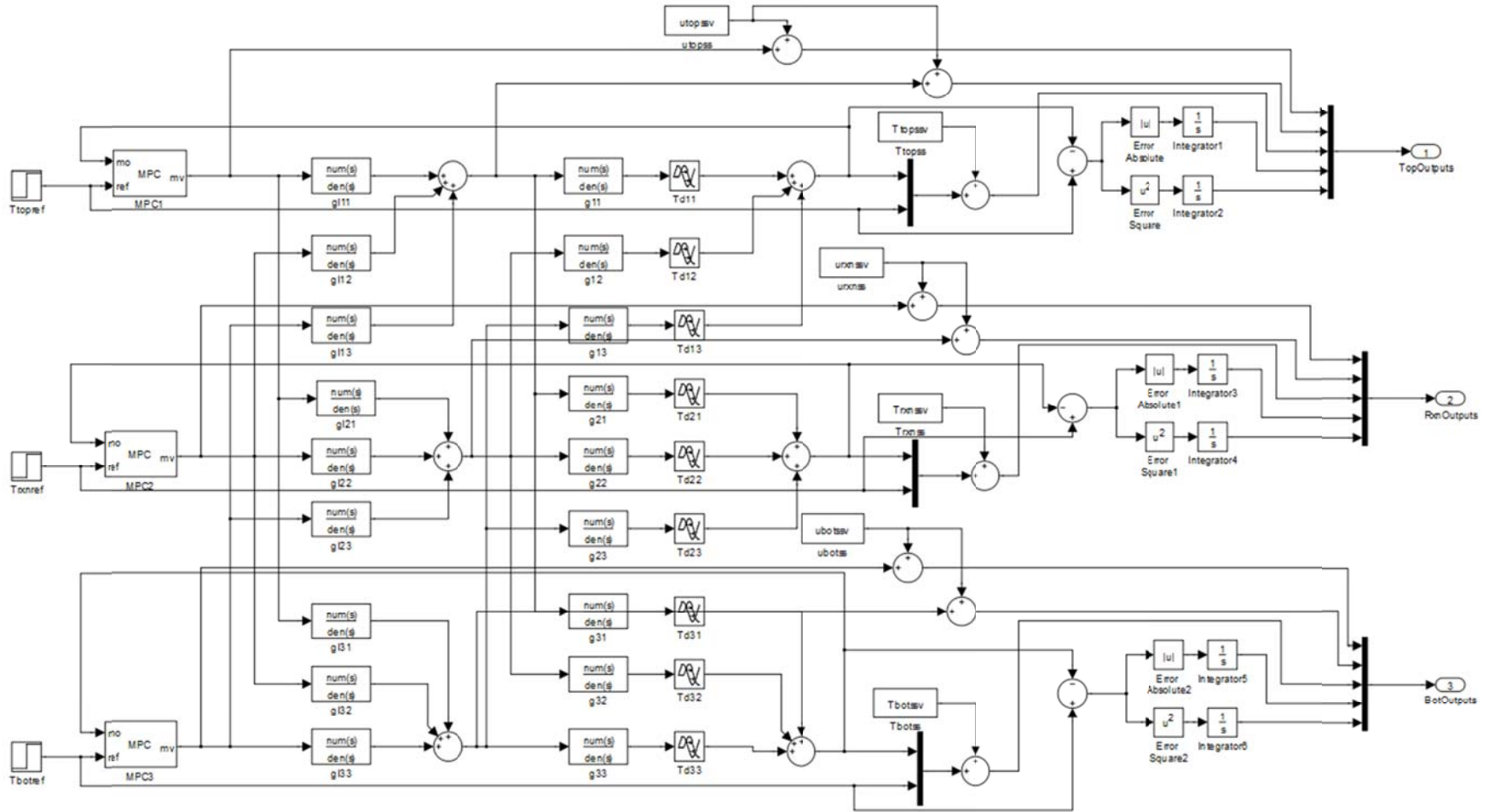
Bu çalışma kapsamında, üç farklı kontrol algoritmasının benzetilmesi gerekmektedir. Algoritmalar şöyledir:

- (i) Ayırımı model öngörmeli kontrolü
- (ii) Ayırimsız model öngörmeli kontrolü
- (iii) Klasik geribeslemeli PID kontrolü

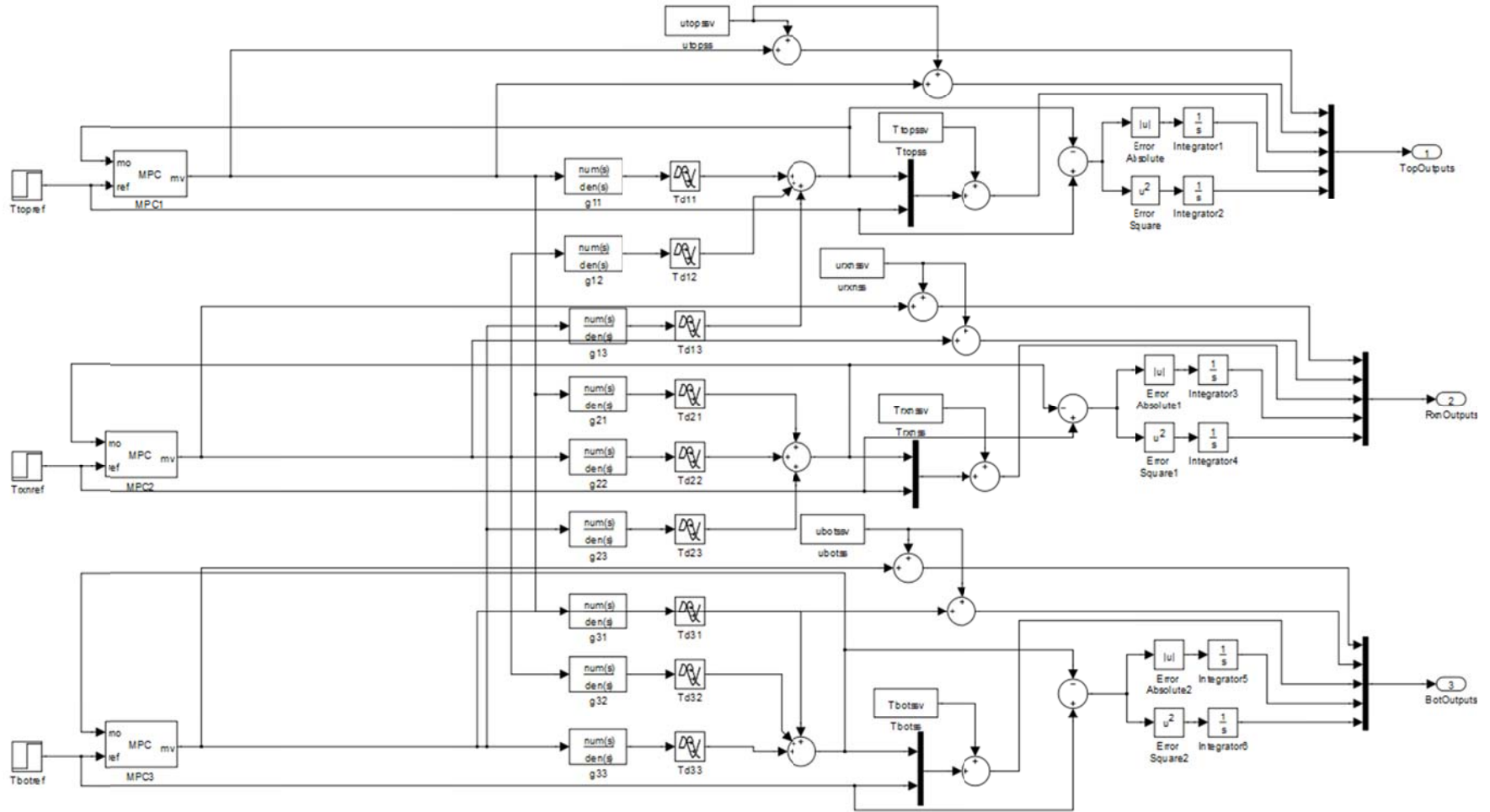
Simulink ortamında oluşturulan kontrol edicilerin algoritmaları aşağıdaki bölümlerde gösterildiği gibidir. Oluşturulmuş kontrol algoritmalarının benzetilmesi için kullanılan MATLAB kodları EK 5'te verilmiştir.

3.2.6.2.1 Set noktası etkisi kontrolü

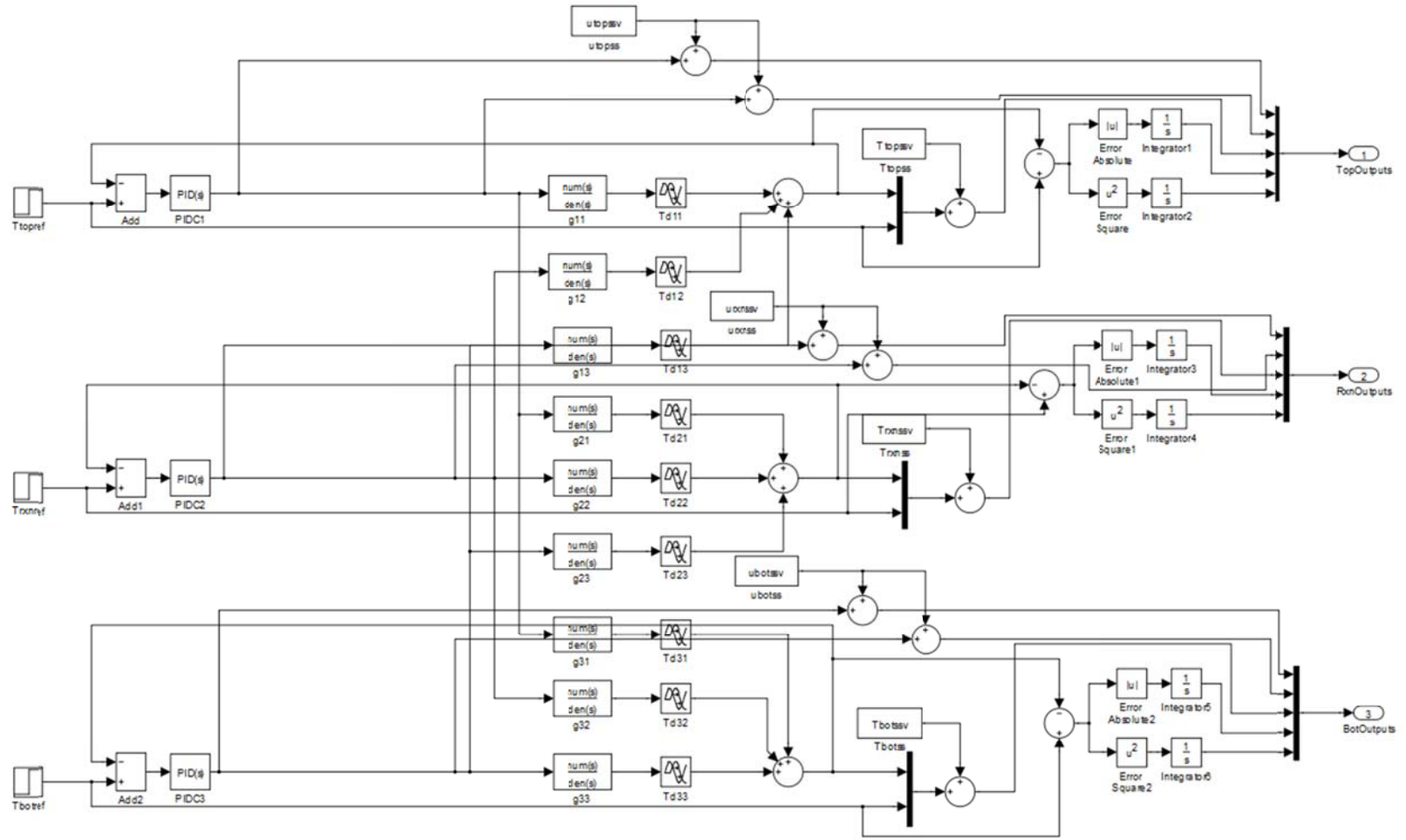
Set noktası etkisi kontrol çalışmasında, kontrol değişkenleri olarak, üst ürün sıcaklığı ve tepkime bölgesi sıcaklığı seçilmiştir; ayarlanabilen değişkenler ise geri akma oranı ve besleme akış hızları oranıdır. Set noktası etkisi kontrol çalışmasında kullanılan simulink diyagramı, ayırımı MPC, ayırimsız MPC ve klasik PIDC için şekil 3.14 - 3.16'de gösterilmektedir.



Şekil 3.14 Set noktası etkisi için ayrılmış model öngörmeli kontrol (MPC) sistemi



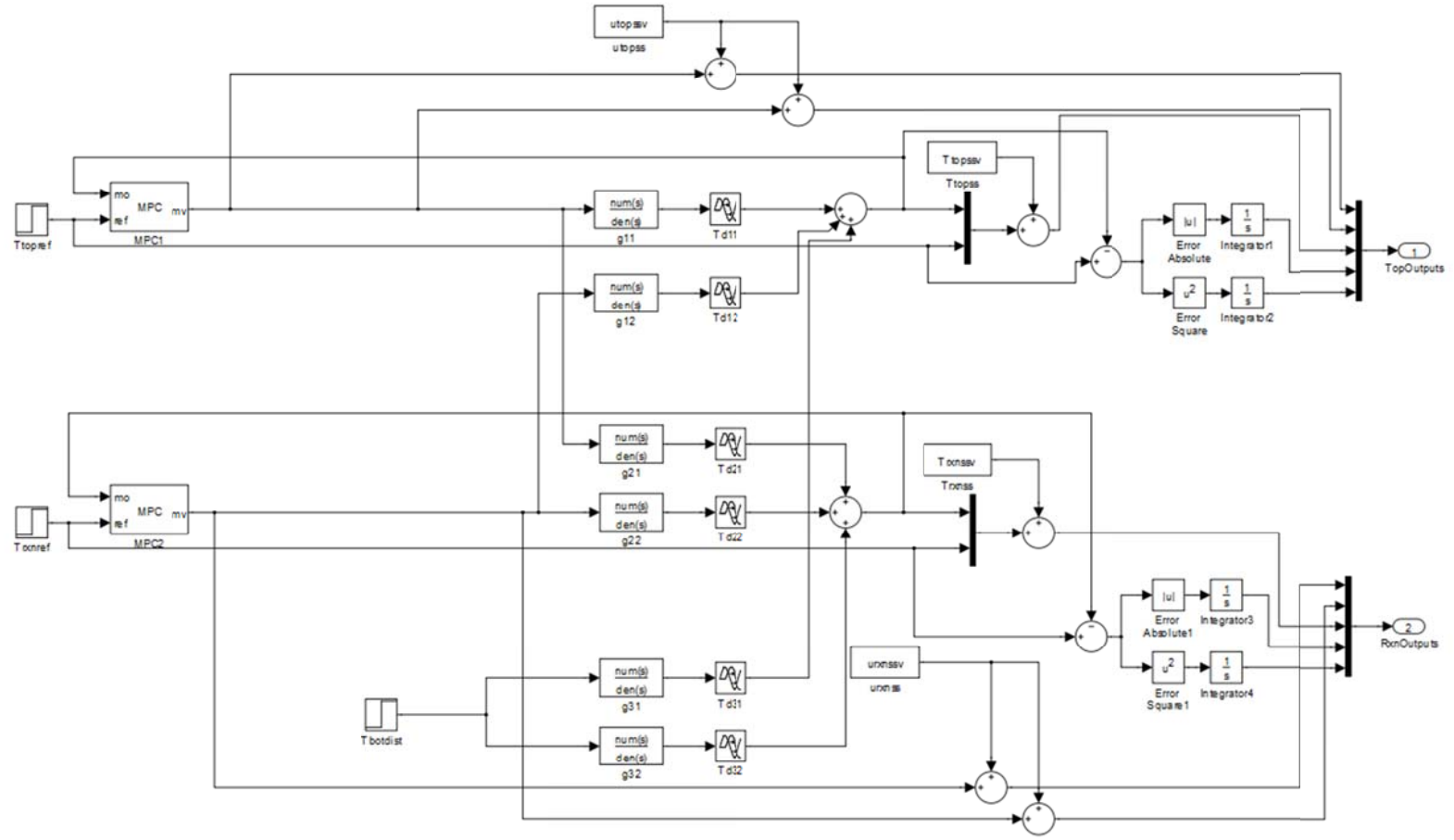
Şekil 3.15 Set noktası etkisi için ayırimsız model öngörmeli kontrol (MPC) sistemi



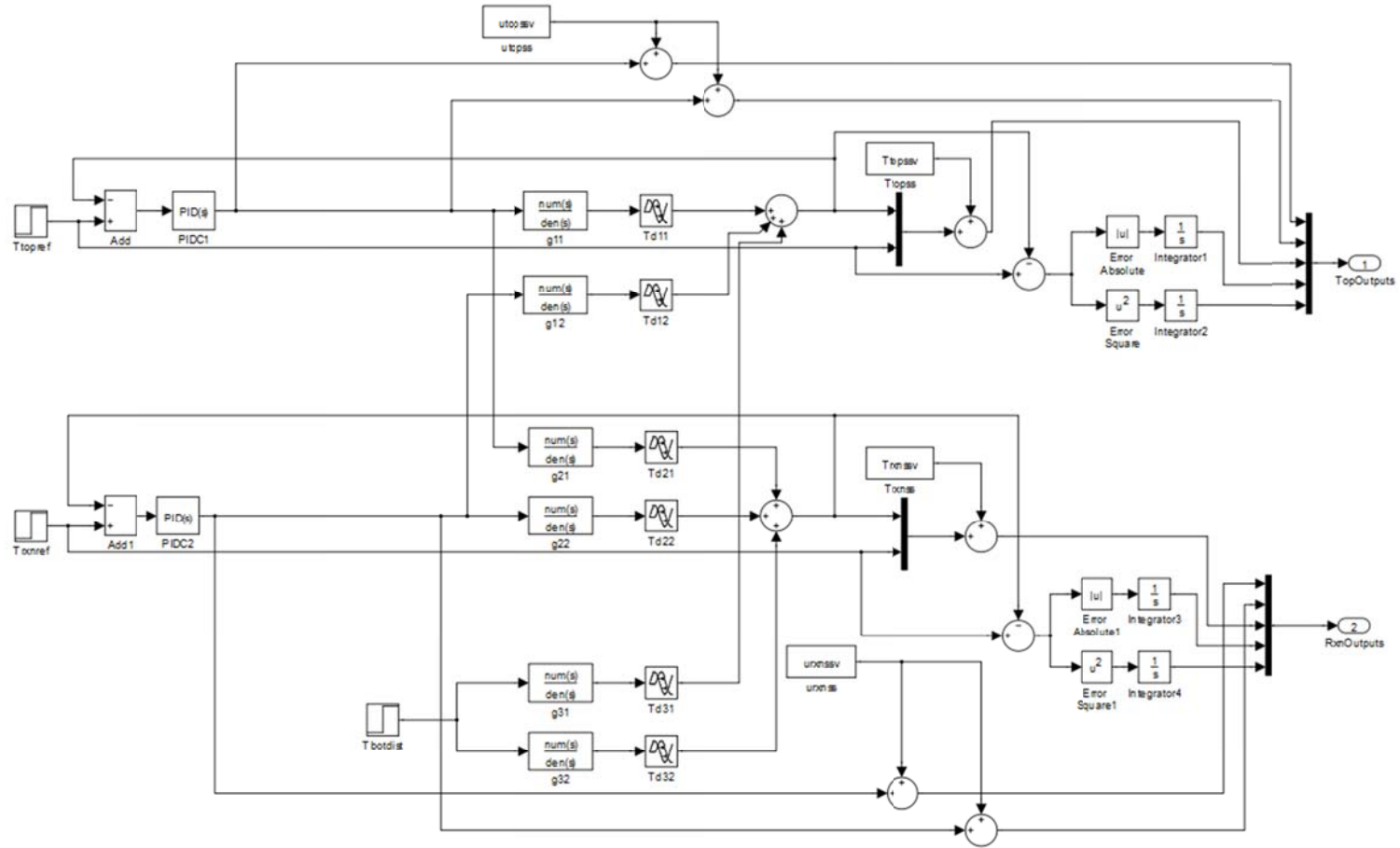
Şekil 3.16 Set noktası etkisi için klasik geribeslemeli oransal-integral-türevsel kontrol (PIDC) sistemi

3.2.6.2.2 Yük etkisi kontrolü

Bu alışma kısmında, bozucu etkisi olarak kazan ısısı seçilmiştir ve set noktası etkisi çalışmalarında seçildiği gibi, kontrol değişkenler üst ürün ve tepkime bölgesi sıcaklıkları, ayarlanabilen değişkenler geri akma ve besleme akış hızı oranlarıdır. Bu yük etkisi kontrol çalışmasında kullanılan simulink diyagramı, ayırımı MPC, ayırımı MPC ve klasik PIDC için şekil 3.17 - 3.19’de gösterilmektedir.



Şekil 3.18 Yük etkisi için ayırimsız model öngörmeli kontrol (MPC) sistemi



Şekil 3.19 Yük etkisi için klasik geribeslemeli oransal-integral-türevsel kontrol (PIDC) sistemi

3.2.7 Analiz yöntemi

Deneysel çalışmalardan elde edilen üst ve alt ürünlerin analizi ThermoFinnigan Trace DSQ-250 marka Gaz Kromatografi-Kütle Spektrometresi (GC-MS)'nde (Şekil 3.20) yapılmıştır. GC-MS analizinde 30 metre uzunluğunda Rtx-5 MS kapiler kolon kullanılmıştır. Ayırmanın yapıldığı kolon sıcaklık programı şöyledir: Kolon 100 °C'de başlayıp 1 dk beklenmiş, ardından 0.3 °C/dak ısıtma hızı ile 130 °C'ye ısıtılmış ve 15 °C/dk ısıtma hızı ile 200 °C'ye ulaşılmış ve bu sıcaklıkta 10 dk bekletilmiştir. Enjeksiyon bölmesi sıcaklığı 280 °C, iyon kaynağı sıcaklığı 240 °C, aktarım hattı sıcaklığı 300 °C ve split oranı ise 50:1 olarak set edilmiştir. GC-MS'de ürün tanımlamasında Wiley Kütüphanesi kullanılmıştır.

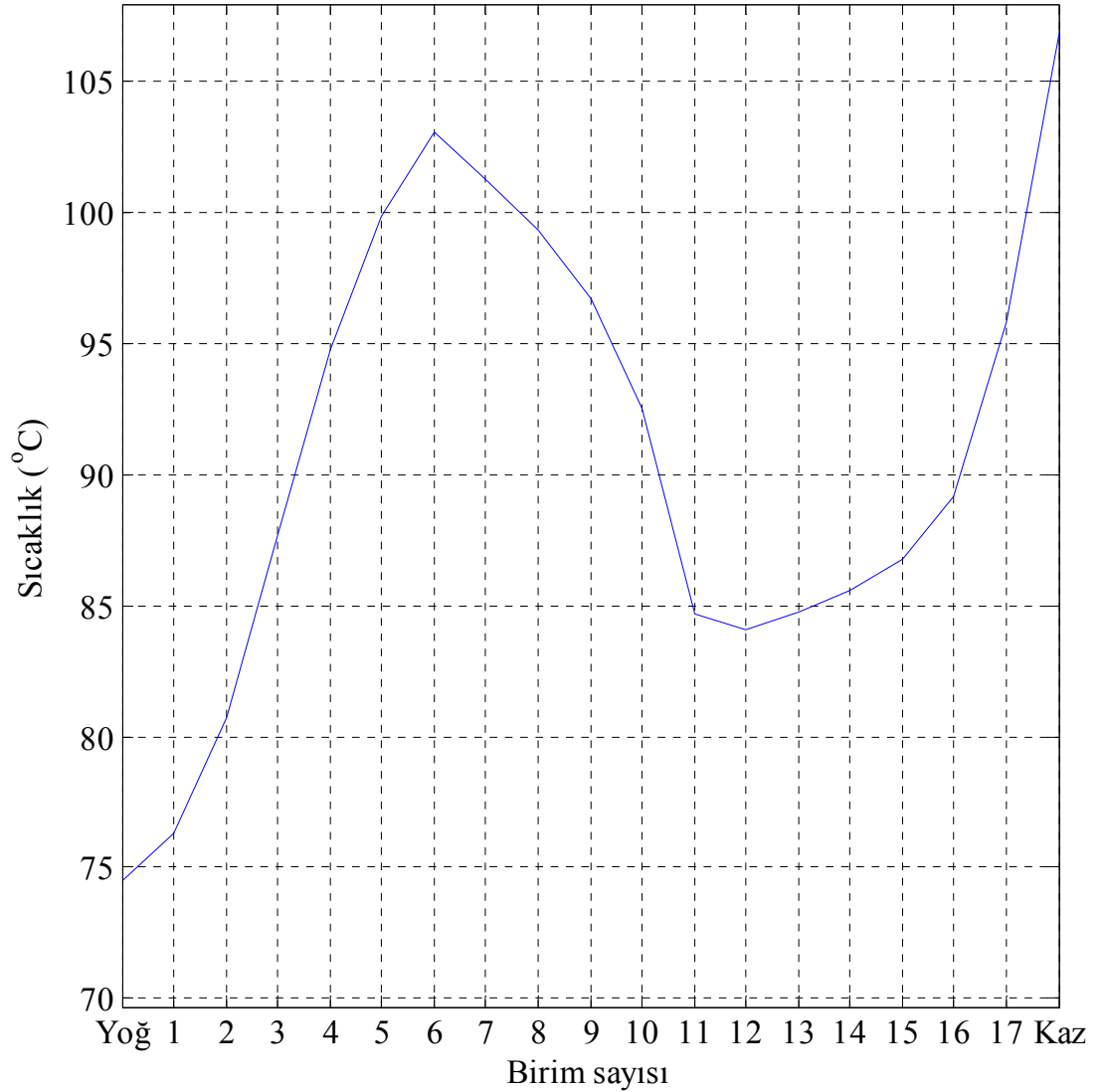


Şekil 3.20 Gaz Kromatografi-Kütle Spektrometresi (GC-MS)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

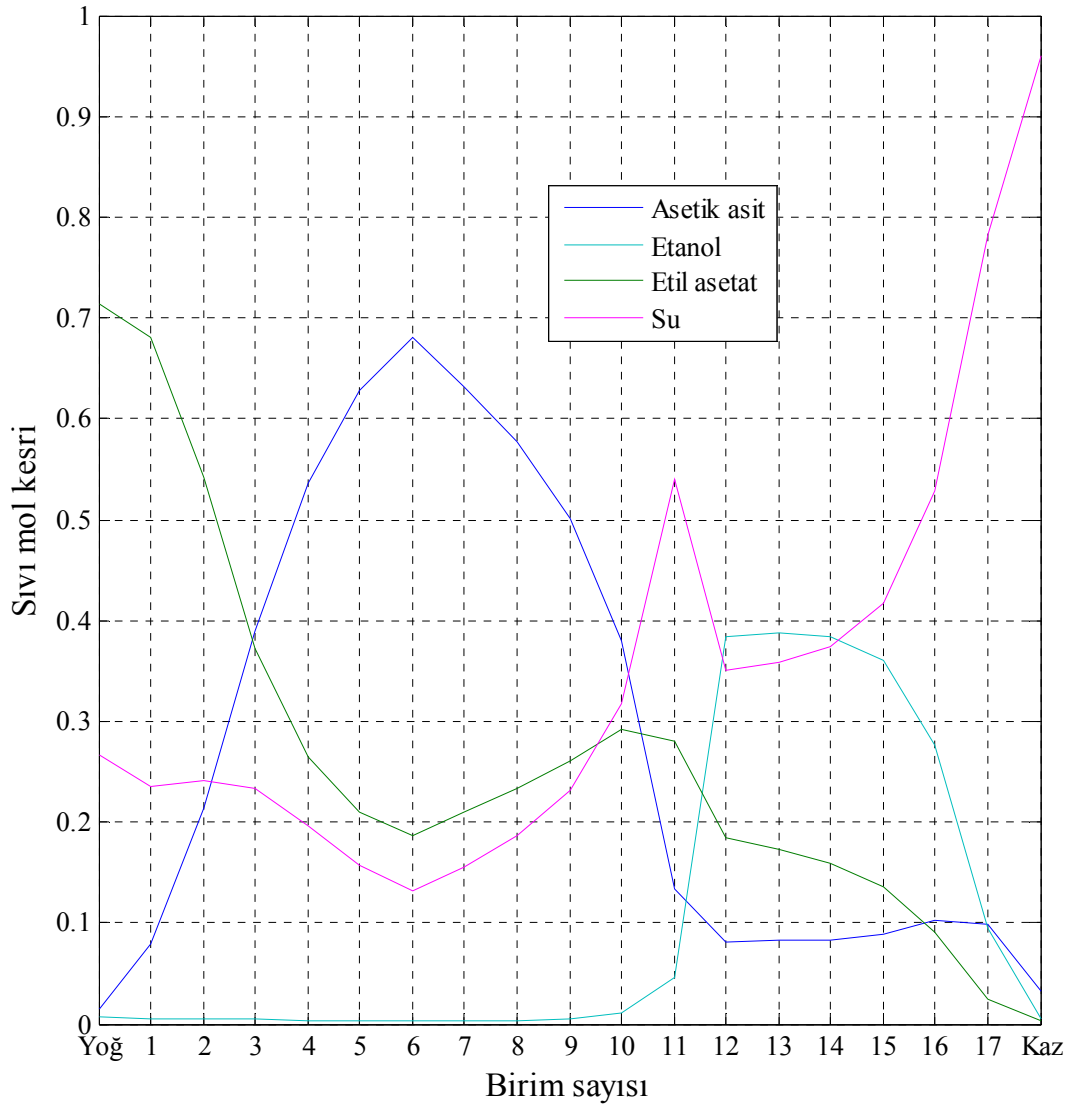
4.1 Benzetim ve Optimizasyon Bulguları

Bu çalışmada, “HYSYS 3.2” kullanılarak tepkimeli dolgulu damıtma kolonunun simülasyonu ve optimizasyonu yapabilmek için bütün kolon, yoğunlaştırıcı ve kazan hariç, 17 birime bölünmüştür. Daha sonra, geri akma oranı 1, besleme akış hızı oranı 1 ve kazan ısısı 0.250 kW iken sistem yatışkın çalışması olarak simüle edilmiştir. Bu yatışkın çalışmasından elde edilen sonuçlar, sıcaklık ve bileşim profili olarak, şekil 4.1 ve 4.2’de gösterilmektedir.



Şekil 4.1 HYSYS tepkimeli dolgulu damıtma kolonu yatışkın hal sıcaklık profili
($R = 1$, $F = 1$ ve $Q = 0.250$ kJ/s)

Şekil 4.1’de gösterilen sıcaklık profilinde görüldüğü gibi, asetik asit besleme birimine yakın bölgenin sıcaklığının çok yüksek olduğu bulunmuştur. Bu sıcaklığın yüksek olmasına tepkime bölgesinde hem tepkime hem de ayırma aynı anda olması, etanol besleme biriminden yukarı çıkan buhar ve kazandan yukarı gelen buhar karışımı sebep olmaktadır.



Şekil 4.2 HYSYS tepkimeli dolgulu damıtma kolonu yatışkın hal mol kesri profili
($R = 1$, $F = 1$ ve $Q = 0.250$ kJ/s)

Şekil 4.2’de gösterilmiş olan bileşim profilinde, beklenildiği gibi, kolonun üst üründe etil asetatın mol kesri (0.7132)’nin en yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Aynı bölgede, suyun, asetik asitin ve etanolün mol kesirleri 0.2665, 0.0141 ve 0.0062 olarak sırasıyla

bulunmuştur. Sonuçlara bakıldığında, üst üründe asetik asidin ve etanolün mol kesirleri çok düşük olduğu görülmektedir ve bu tepkimenin dönüşümü yüksek olduğunu ve ayırmanın iyi gerçekleştirildiğini gösterilmektedir.

Kazanadaki bileşenlerin mol kesirlerine bakılırsa, en yüksek değeri olan sudur (mol kesri, 0.9597). Asetik asidin, etanolün ve etil asetatın mol kesirleri 0.0332, 0.0043 ve 0.0028 sırasıyladır. Kazandaki asetik asidin ve etanolün mol kesirleri çok düşük olmasına yüksek tepkime dönüşümü sebep olmuştur.

“HYSYS” simülasyonu için kullanılan parametreler deney sisteminde kullanıldığında, sonuçlar, özellikle üst ürün için, uyumlu olduğu ortaya çıkmıştır. Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi HYSYS simülasyonundan elde edilen üst birim sıcaklığı 74.53 °C’dir ve deneysel üst birim sıcaklığı 74.66 °C’dir.

Çizelge 4.1 HYSYS benzetimi ve deney sıcaklıklarının karşılaştırılması

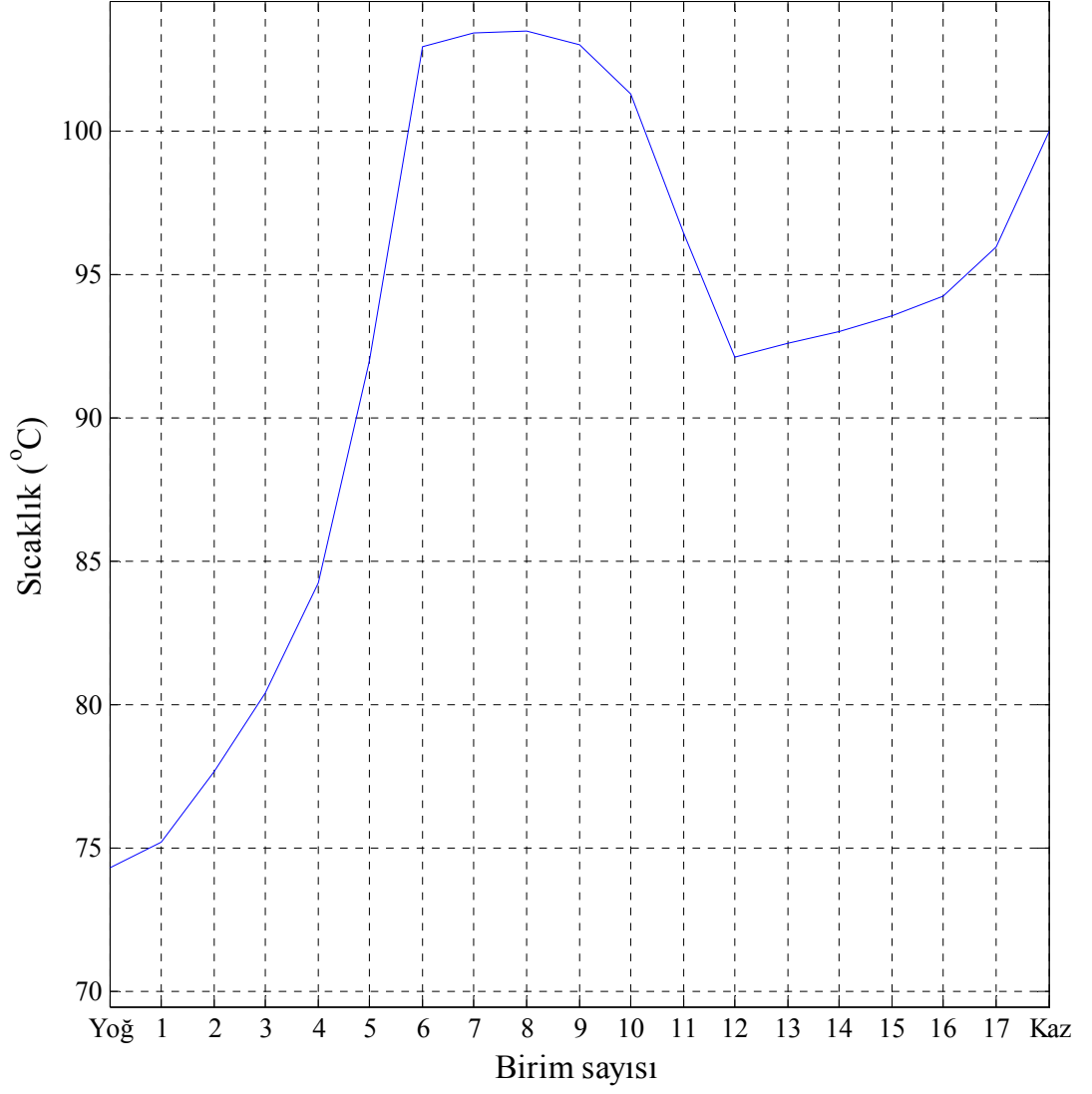
Tanım	Değer
Simüle edilen üst birim sıcaklığı (°C)	74.5338
Deneysel üst birim sıcaklığı (°C)	74.6600
Mutlak hata (°C)	0.1262
Yüzde mutlak hata (%)	0.1690

Tepkimeli dolgulu damıtma kolonu HYSYS ortamında ve deneysel olarak yatışkın hal simülasyonu yapıldıktan sonra, prosesin işletim parametrelerinin belirlenmesi için Ardışık Kuadaratik Programlama optimizasyon yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Optimizasyonda amaç fonksiyonu olarak üst birimde etil asetatın mol kesri seçilmiştir ve optimizasyondan elde edilen sonuçlar çizelge 4.2’de gösterilmektedir.

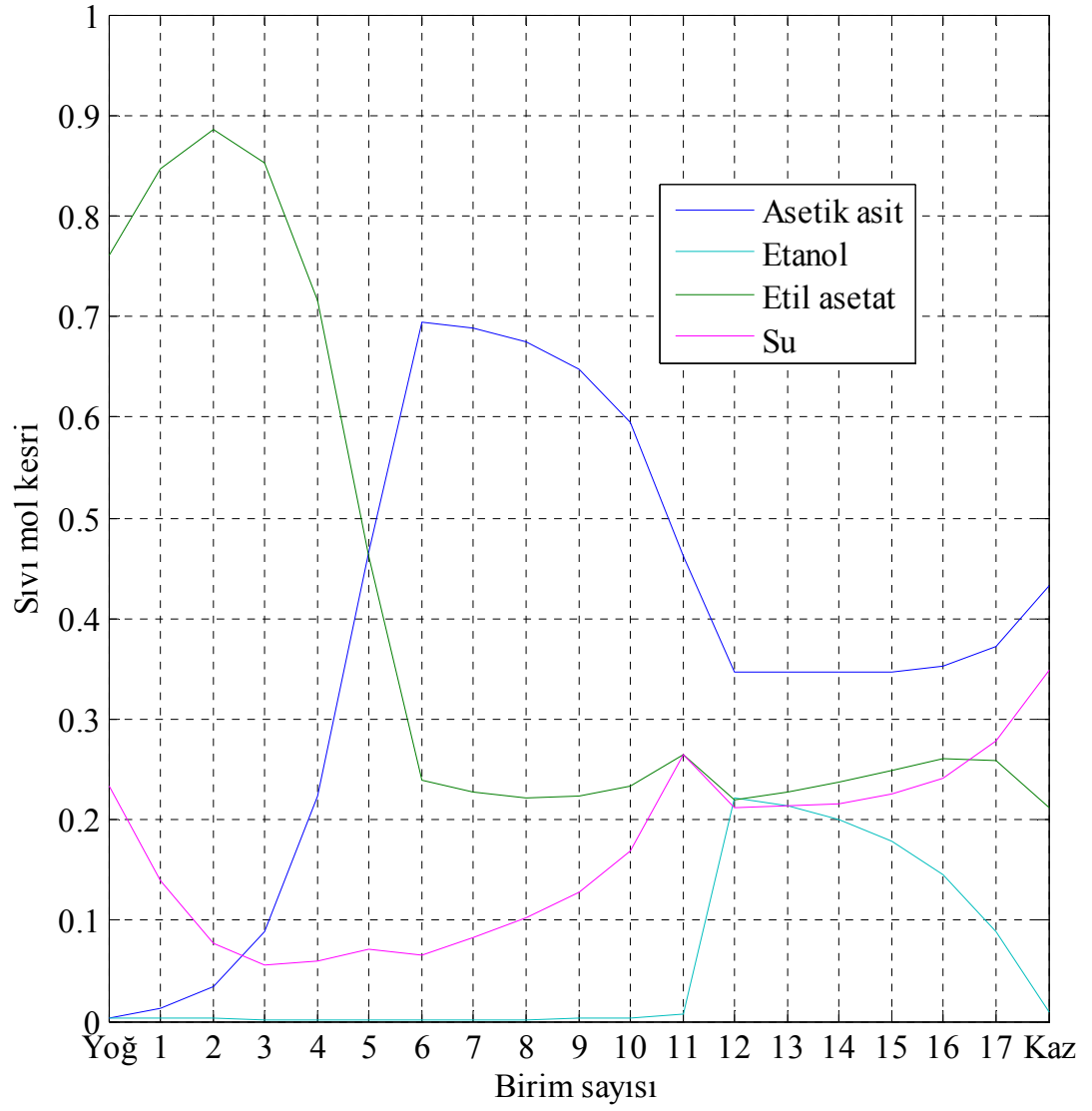
Çizelge 4.2 Yatışkın hal değerleri ve optimum değerler

Parametre	Yatışkın hal	Optimum
Geri akma oranı (kmol s^{-1} sıvı/ kmol s^{-1} üst ürün)	1.0000	2.6103
Besleme oranı (mL s^{-1} asetik asit/ mL s^{-1} etanol)	1.0000	2.0011
Kazan ısısı (kJ/s)	0.2500	0.1070
Amaç fonksiyonu (Üst ürün etil asetat mol kesri)	0.7132	0.7608
Üst birim sıcaklığı (°C)	74.53	74.33

Çizelge 4.1’de gösterildiği gibi, üst birim sıcaklığının azalmasına etil asetatın mol kesrinin maksimizasyonu sebep olmuştur.



Şekil 4.3 Tepkimeli dolgulu damıtma kolonunun HYSYS optimum sıcaklık profili
($R = 2.6$, $F = 2.0$ ve $Q = 0.11$ kJ/s)



Şekil 4.4 Tepkimeli dolgulu damıtma kolonunun HYSYS optimum bileşim profili
($R = 2.6$, $F = 2.0$ ve $Q = 0.11$ kJ/s)

Optimizasyondan elde edilen sıcaklık ve bileşim profilleri şekil 4.3 ve 4.4’de sırasıyla gösterilmektedir. Optimizasyondan elde edilen şekil 4.3 ve 4.4, yatışkın hal simülasyonundan elde edilen şekil 4.1 ve 4.2 ile karşılaştırıldığında, şekillerin farklı olduğu görülmektedir. Üst ürünün optimizasyonu yapmaya çalışılırken, bileşim profilindeki fark sıcaklık profilinde yansıtılmıştır. Bu demek ki, bileşim ve sıcaklık birbirlerine bağlıdır.

Optimizasyonun doğrulamak için, elde edilen optimum parametreler kullanılarak deney yapılmıştır ve HYSYS optimizasyonunun sonucu, deneysel sonuç ile çizelge 4.3’de

gösterildiği gibi karşılaştırılmıştır. Çizelgede görüldüğü gibi, sonuçlar arasında iyi uyumluluk bulunmuştur. HYSYS optimizasyonundan üst birim sıcaklığı ve deneysel ürün birim sıcaklığı sırasıyla 74.33 ve 74.52 °C'dir.

Çizelge 4.3 HYSYS optimizasyonu ve deney sıcaklıklarının karşılaştırılması

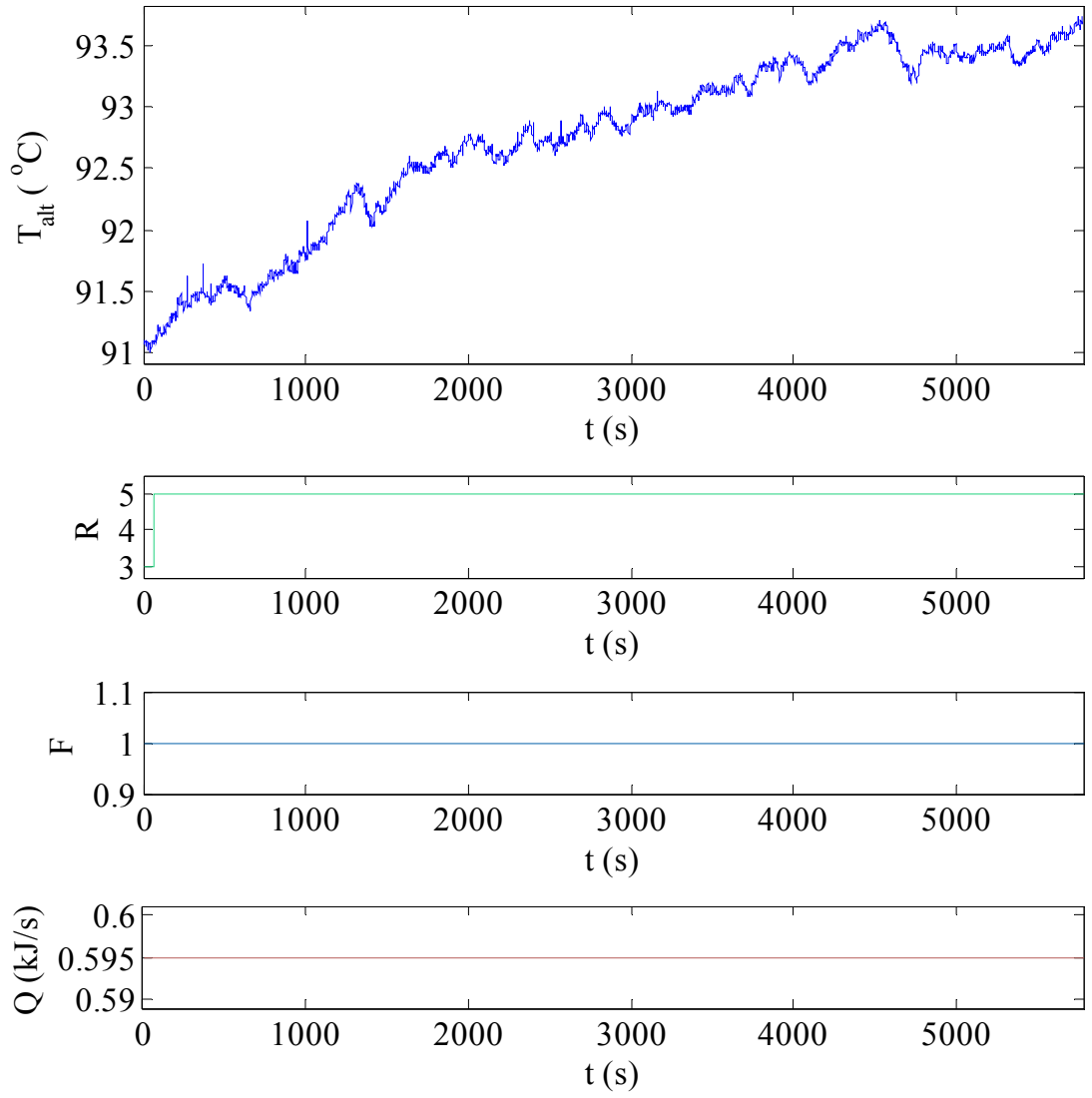
Tanım	Değer
Simüle edilen üst birim sıcaklığı (°C)	74.33
Deneysel üst birim sıcaklığı (°C)	74.52
Mutlak hata (°C)	0.19
Yüzde mutlak hata (%)	0.2603

4.2 Kontrol Yapısı Deneyi Bulguları

Bu çalışmanın kontrol yapısının seçilmesi için, sistemin dinamik davranışları incelenmiştir. Yani, her girdi değişkenine etki verildiğinde, çıktı değişkenlerinin verilen yanıtları incelenmiştir. Daha önceden de belirtildiği gibi, bu çalışmanın girdi değişkenleri geri akma oranı, besleme akış hızı oranı ve kazan ısısıdır. Ancak, bu çalışmada, kazan ısısı bozucu etkisi olarak alınmıştır. Böylece çıktı değişkenleri olarak ise üst ürün sıcaklığı ve tepkime bölgesi sıcaklığı alınmıştır.

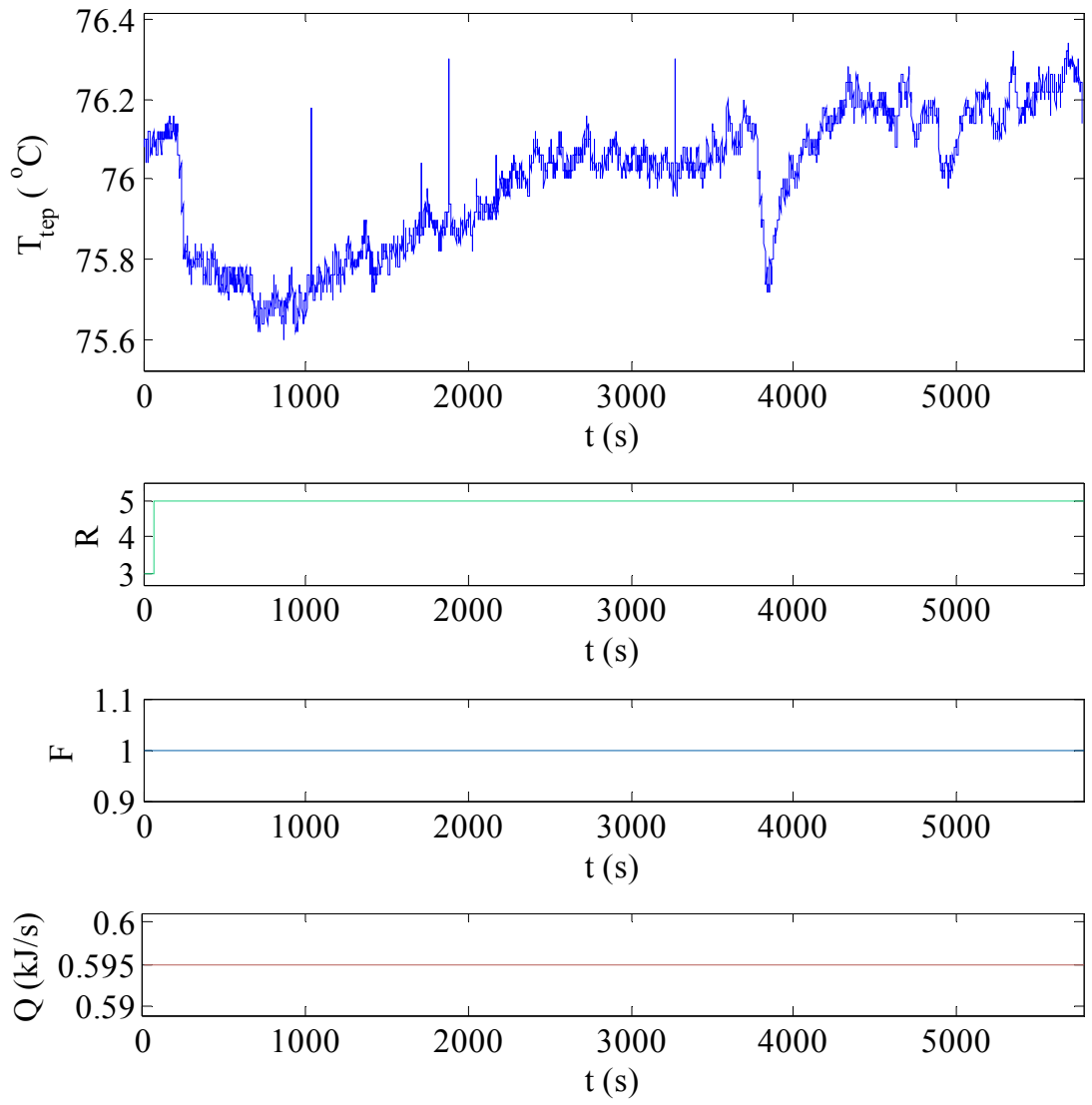
Her bir girdi değişkenine etki verildiğinde, elde edilen çıktı değişkenlerinin yanıtları şekil 4.5 - 4.13 arasında gösterilmiştir.

Üst birim, tepkime birim ve alt birim sıcaklıklarının üzerindeki geri akma oranının etkisi şekil 4.5 - 4.7'de görülmektedir.

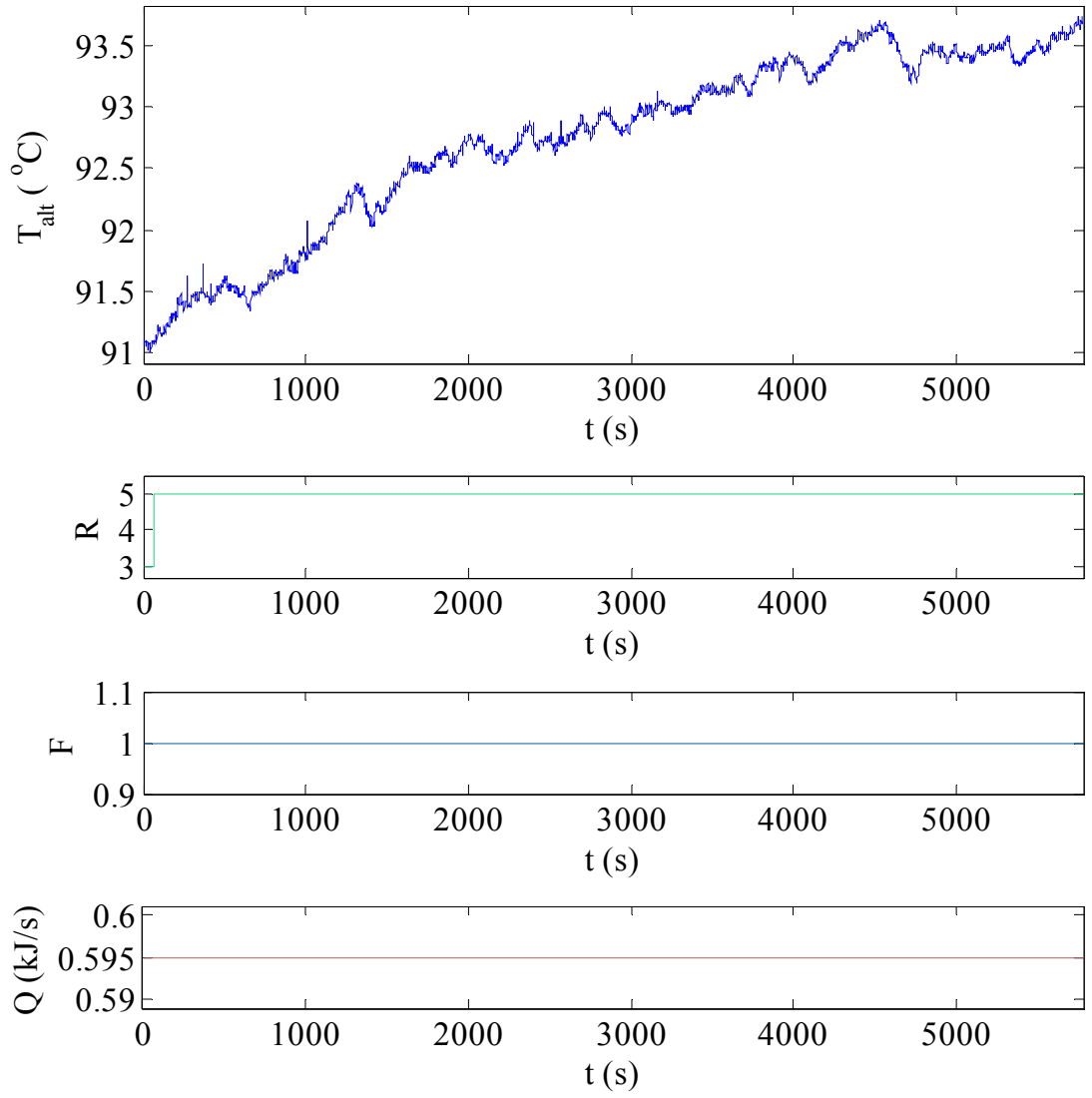


Şekil 4.5 Geri akma oranına 3'ten 5'e basamak etkisi verildiğinde üst ürün sıcaklığının dinamik yanıtı ($R = 3$ 'ten 5 'e basamak etkisi, $F = 1.0$ ve $Q = 0.595$ kJ/s)

Şekil 4.5 - 4.7'de görüldüğü gibi, geri akma oranına basamak etkisi verildiğinde ve besleme akış hızı oranı ve Q ısısı sabit tutulduğunda, üst birim, tepkime birim ve alt birim sıcaklıklarının yanıtlarında değişimler olduğu görülmüştür. Böylece, üst ürün, tepkime bölgesi ve alt bölge sıcaklığının kontrol edilmesi için geri akma oranı ayar değişkeni olarak kullanılabileceği görülmüştür.

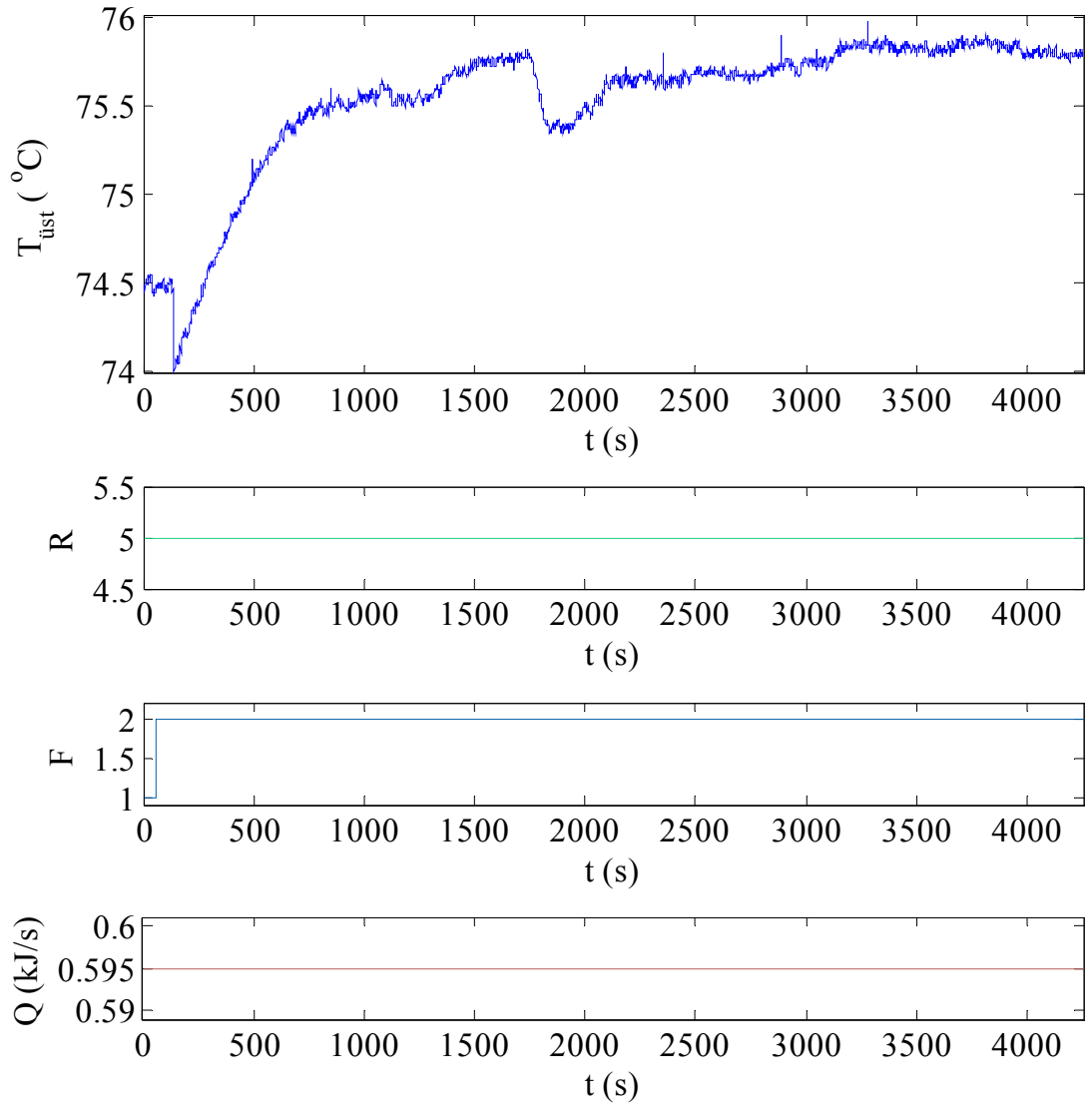


Şekil 4.6 Geri akma oranına 3'ten 5'e basamak etkisi verildiğinde tepkime bölgesi sıcaklığının dinamik yanıtını ($R = 3$ 'ten 5'e basamak etkisi, $F = 1.0$ ve $Q = 0.595$ kJ/s)

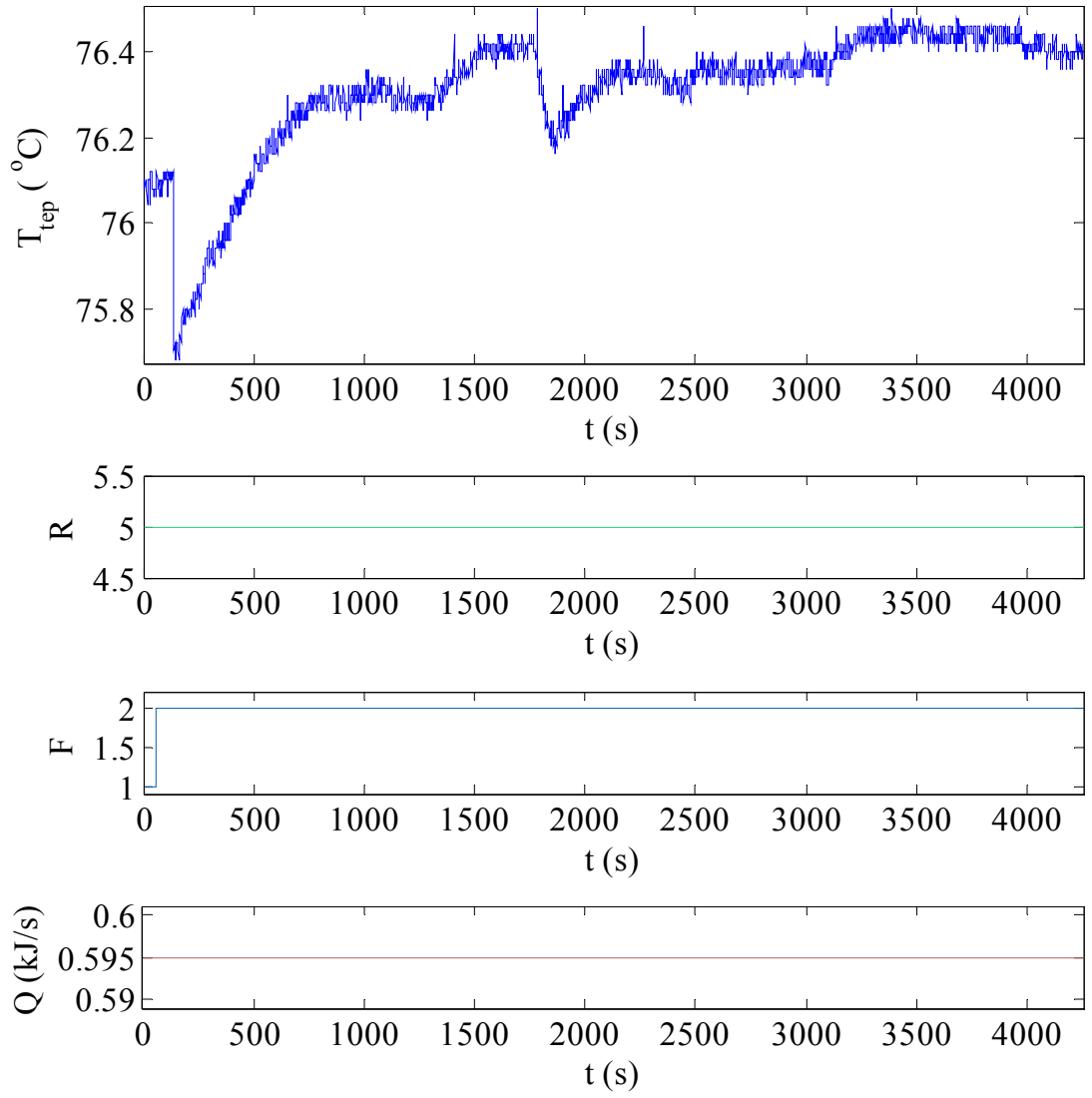


Şekil 4.7 Geri akma oranına 3'ten 5'e basamak etkisi verildiğinde alt bölge sıcaklığının dinamik yanıtını ($R = 3$ 'ten 5'e basamak etkisi, $F = 1.0$ ve $Q = 0.595$ kJ/s)

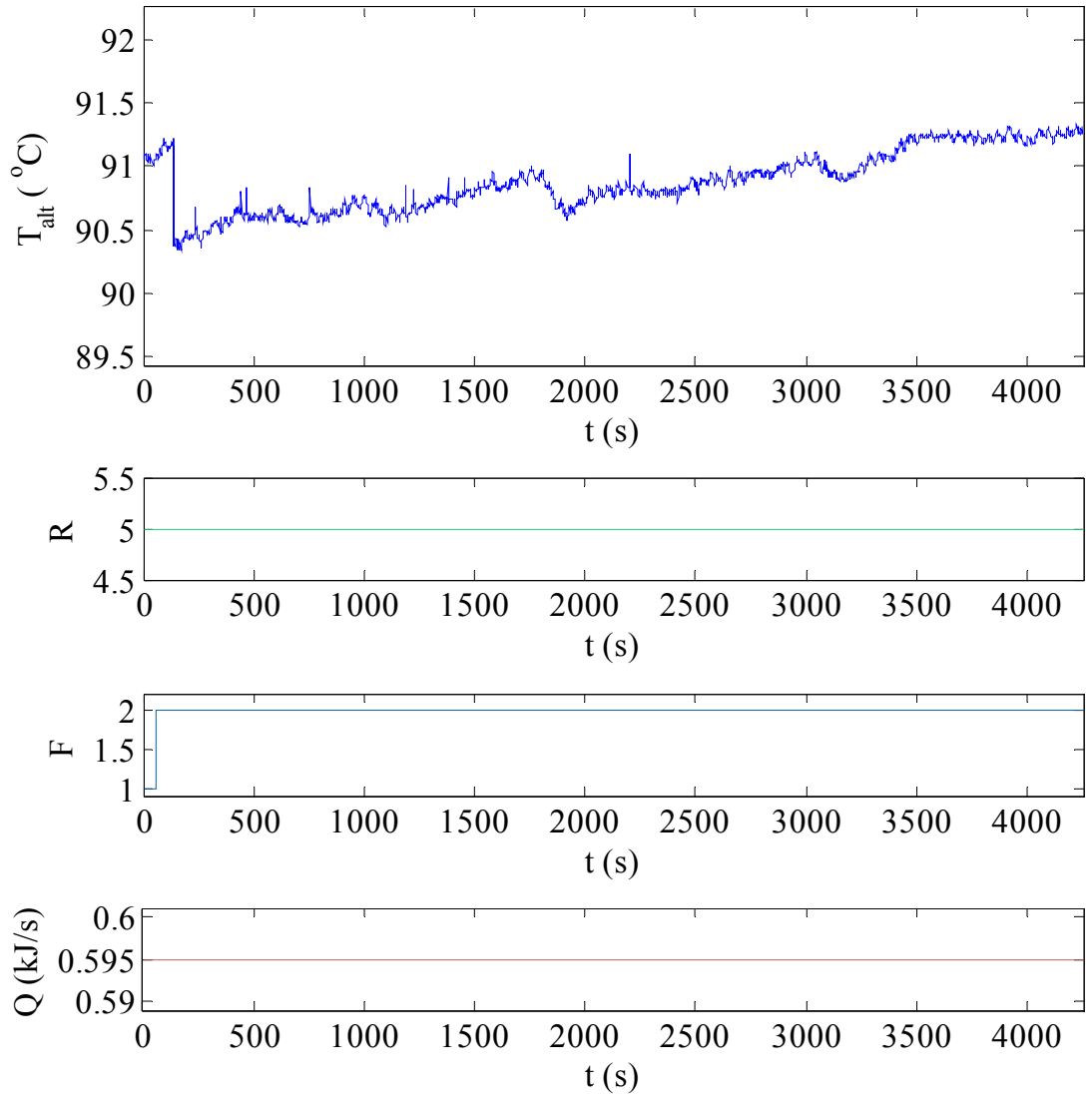
Besleme oranına basamak etkisi verildiğinde, sistemin üst birim, tepkime birim ve alt birim sıcaklıklarının yanıtları da şekil 4.8 - 4.10'da gösterilmektedir. Geri akma oranının incelendiğinde gibi, besleme akış hızı oranına etki verildiğinde, geri akma oranı ve kazan ısısı sabit tutulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, sistemin yanıtlarında değişimler bulunmuştur. Bu sonuçlardan da besleme akış hızı oranı üst ürün, tepkime bölgesi ve alt bölge sıcaklıklarını kontrol etmek için ayar değişkeni olarak kullanılabilir.



Şekil 4.8 Besleme oranına 1’den 2’e basamak etkisi verildiğinde üst ürün sıcaklığının dinamik yanıtını ($R = 5$, $F = 1$ ’den 2’ye basamak etkisi ve $Q = 0.595$ kJ/s)

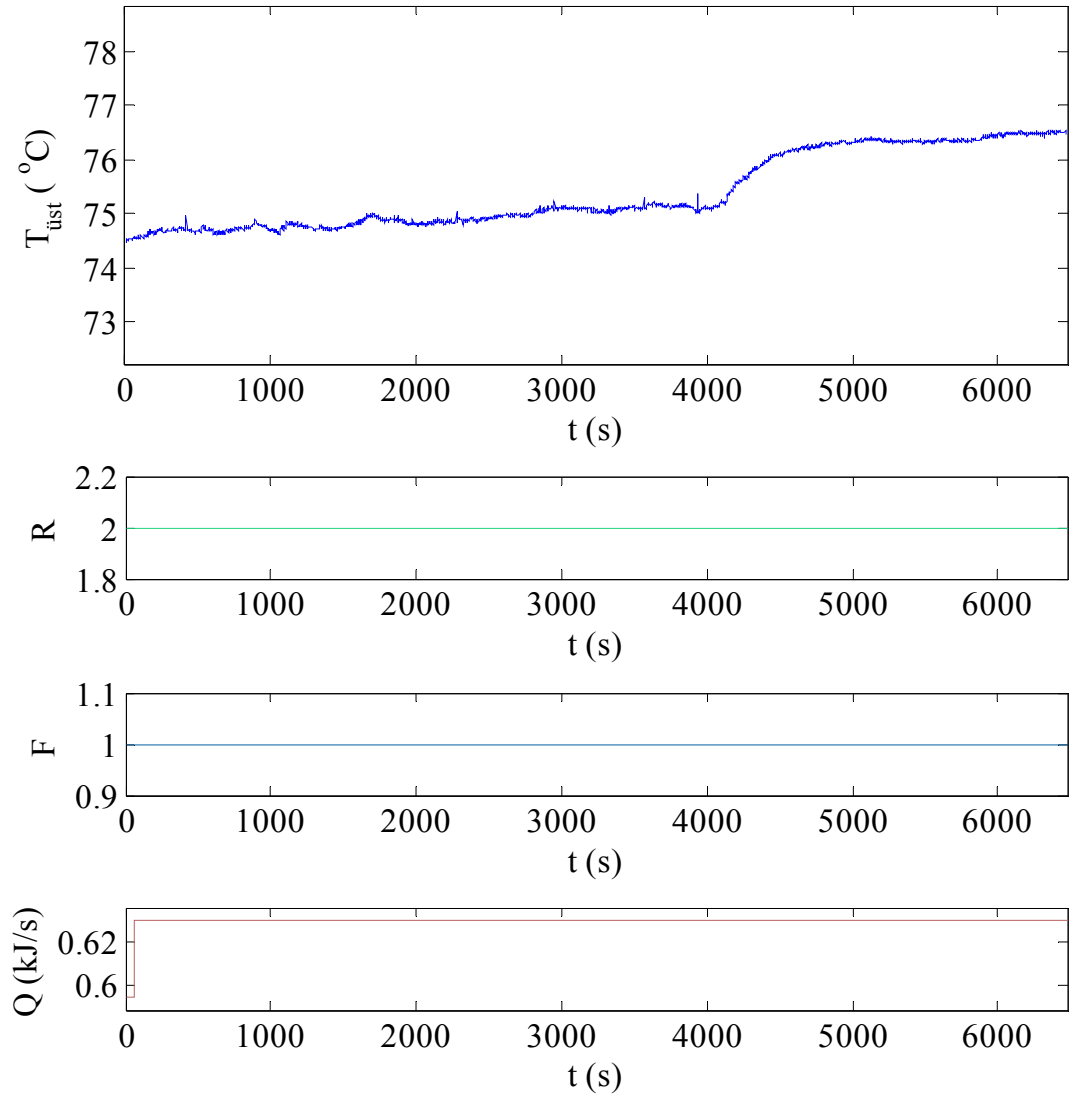


Şekil 4.9 Besleme oranına 1’den 2’ye basamak etkisi verildiğinde tepkime bölgesi sıcaklığının dinamik yanıtını ($R = 5$, $F = 1$ ’den 2’ye basamak etkisi ve $Q = 0.595$ kJ/s)

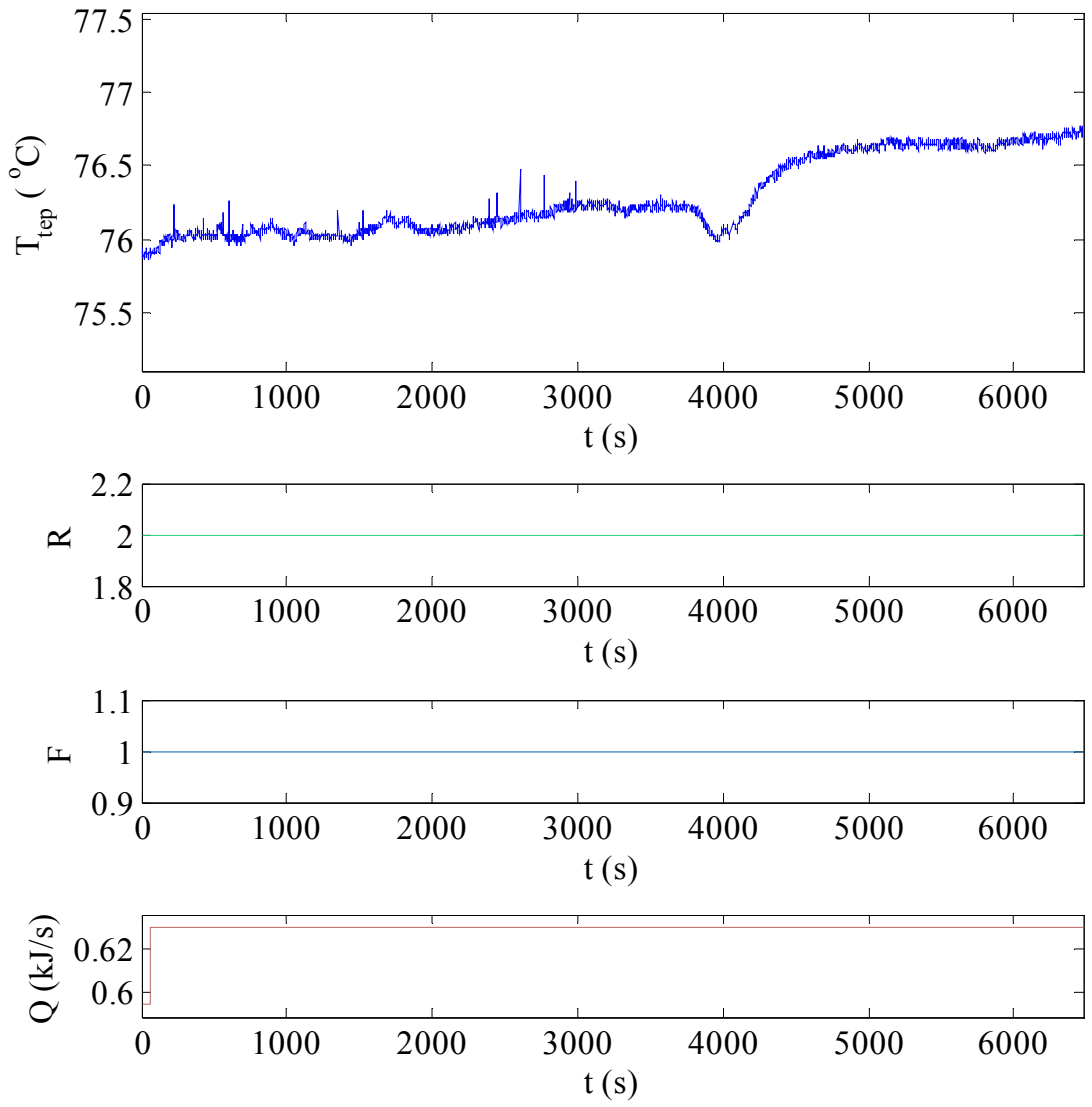


Şekil 4.10 Besleme oranına 1’den 2’ye basamak etkisi verildiğinde alt bölge sıcaklığının dinamik yanıtımı ($R = 5$, $F = 1$ ’den 2’ye basamak etkisi ve $Q = 0.595$ kJ/s)

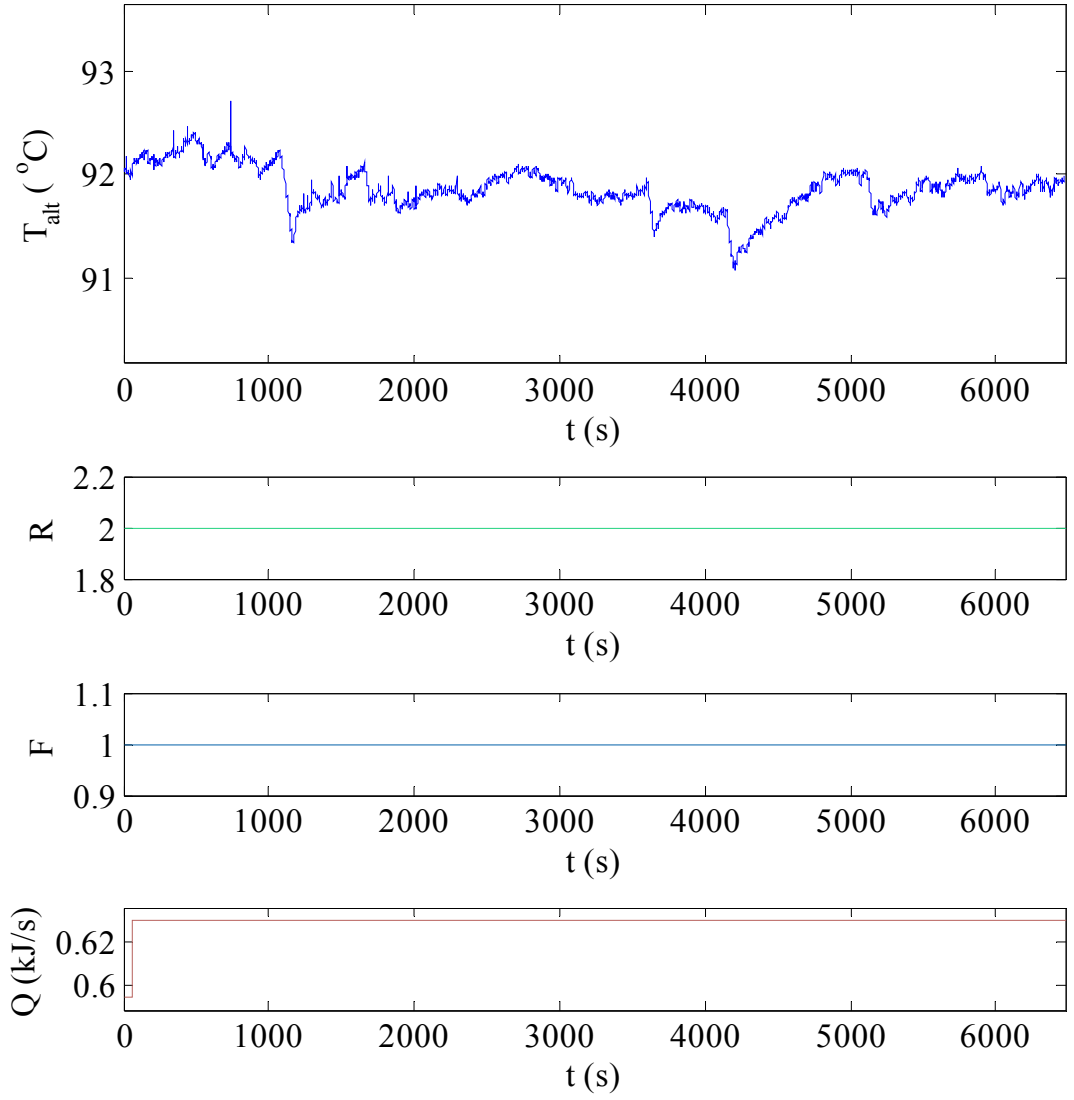
Kazan ısısına basamak etkisi verildiğinde, sistemin üst birim, tepkime birim ve alt birim sıcaklıklarının yanıtları da şekil 4.11 - 4.13’te gösterilmektedir. Geri akma ve besleme akış hızı oranlarının incelendiğinde gibi, kazan ısısına etki verildiğinde, geri akma ve besleme akış hızı oranları sabit tutulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, sistemin yanıtlarında değişimler bulunmuştur.



Şekil 4.11 Kazan ısıısına 0.595'den 0.63'e basamak etkisi verildiğinde üst ürün sıcaklığının dinamik yanıtımı ($R = 5$, $F = 1$ ve $Q = 0.595$ 'ten 0.63 kJ/s basamak etkisi)



Şekil 4.12 Kazan ısıısına 0.595’den 0.63’e basamak etkisi verildiğinde tepkime bölgesi sıcaklığının dinamik yanıtımı ($R = 5$, $F = 1$ ve $Q = 0.595$ ’ten 0.63 kJ/s basamak etkisi)



Şekil 4.13 Kazan ısısına 0.595’den 0.63’e basamak etkisi verildiğinde alt bölge sıcaklığının dinamik yanıtı ($R = 5$, $F = 1$ ve $Q = 0.595$ ’ten 0.63 kJ/s basamak etkisi)

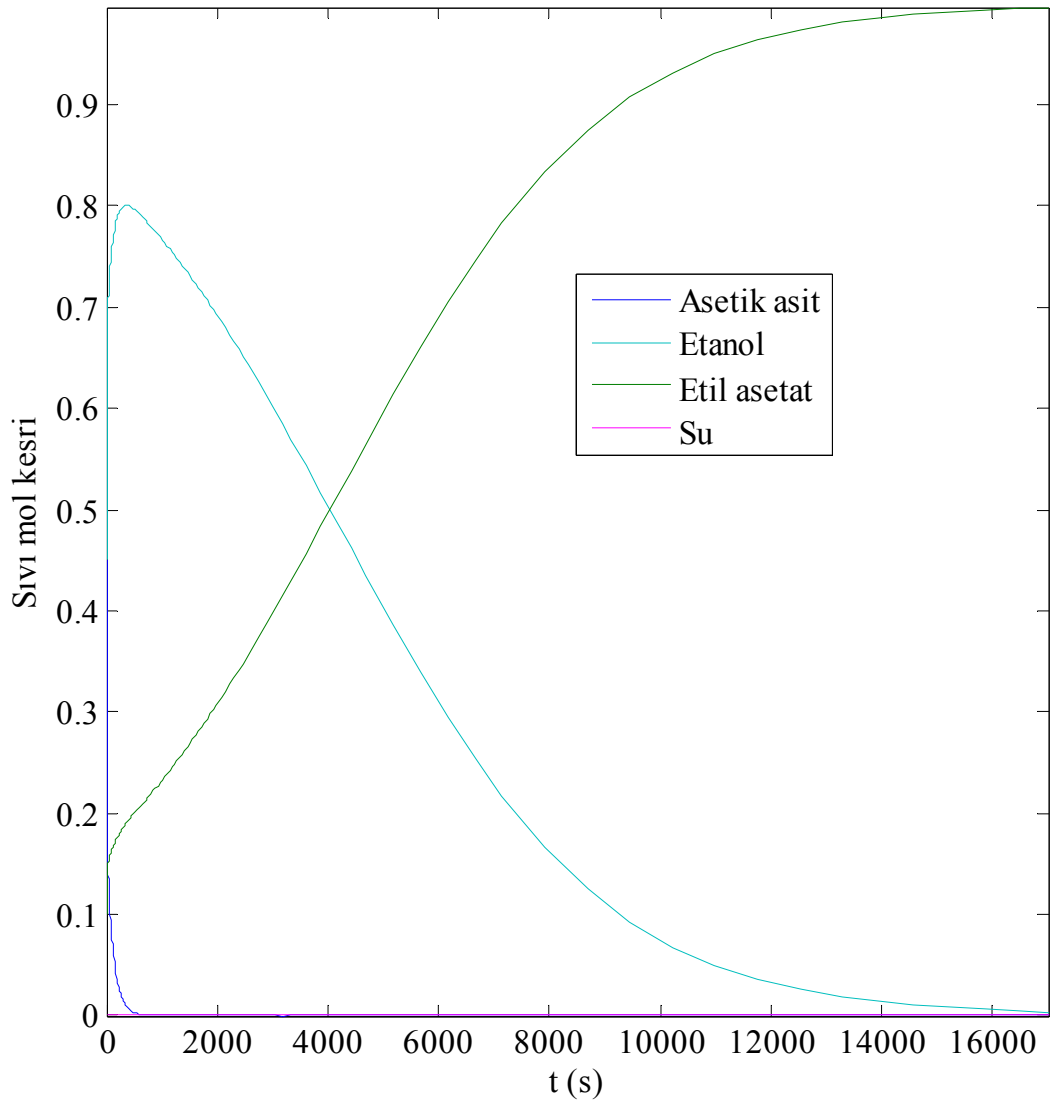
Seçilen ayarlanabilen değişkenlerin incelenmesinden sonra, bu tepkimeli dolgulu damıtma kolonu çok değişkenli bir sistem olduğu söylenebilir çünkü girdi değişkenleri bütün çıktı değişkenlerini etkilemektedir. Yani, proses değişkenlerin arasında etkileşim var ve kontrol kısmında bu etkileşimin giderilmesi için ayırımın yapılması gerekir.

Kontrol kısmına geçmeden önce, plant için kullanılacak modellerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle, sistemin dinamik modelleri kurulup çözülmüştür.

4.3 Kuramsal Dinamik Model Bulguları

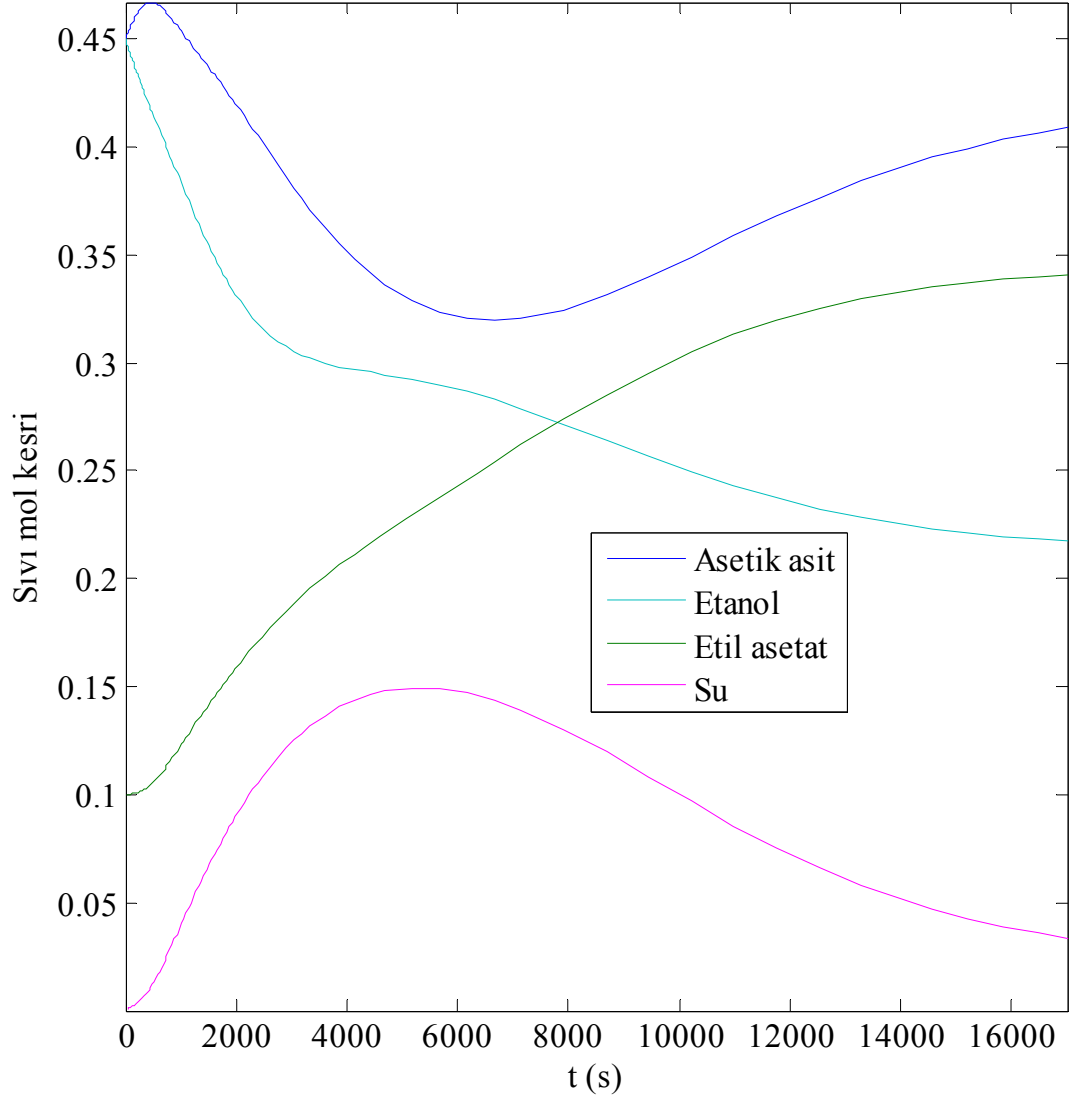
Dinamik model çalışmasında, deneysel simülasyonda kullanılan parametreler kullanılarak, sistemin kurulmuş model denklemler MATLAB R2011b yardımıyla çözülmüştür. Model çözümlerinden elde edilen sonuçlar şekil 4.14 – 4.17’de gösterilmektedir.

Şekil 4.14’de gösterilen bileşimlerin profillerinden, yoğunlaştırıcıdaki etil asetatın mol kesri bire yakındır ve o birimde diğer bileşenlerin mol kesirleri çok çok düşüktür.

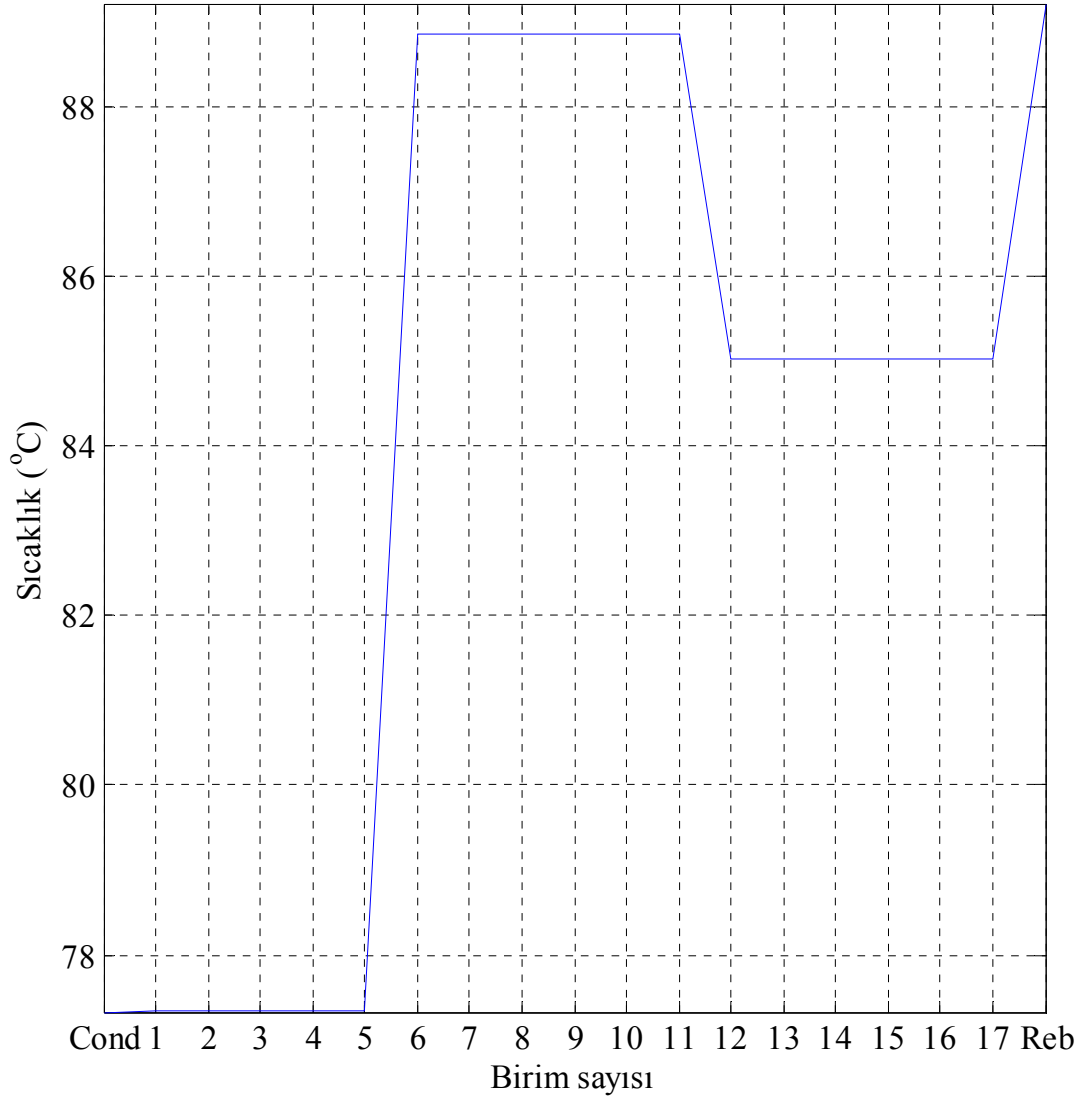


Şekil 4.14 Yoğunlaştırıcıdaki bileşenlerin mol kesirlerinin teorik dinamik yanıtları
($R = 3$, $F = 1$ ve $Q = 0.630$ kJ/s)

Kazandaki bileşenlerin mol kesirleri profillerine (Şekil 4.15'e) bakıldığında, etil asetatın mol kesri düşüktür. Ayrıca, etil asetatın dışında, kazanda asetik asit ve etanol de bulunmaktadır. Kazanda asetik asit ve etanolün bulunması tepkime dönüşümü yüzde yüz olmadığını göstermektedir.



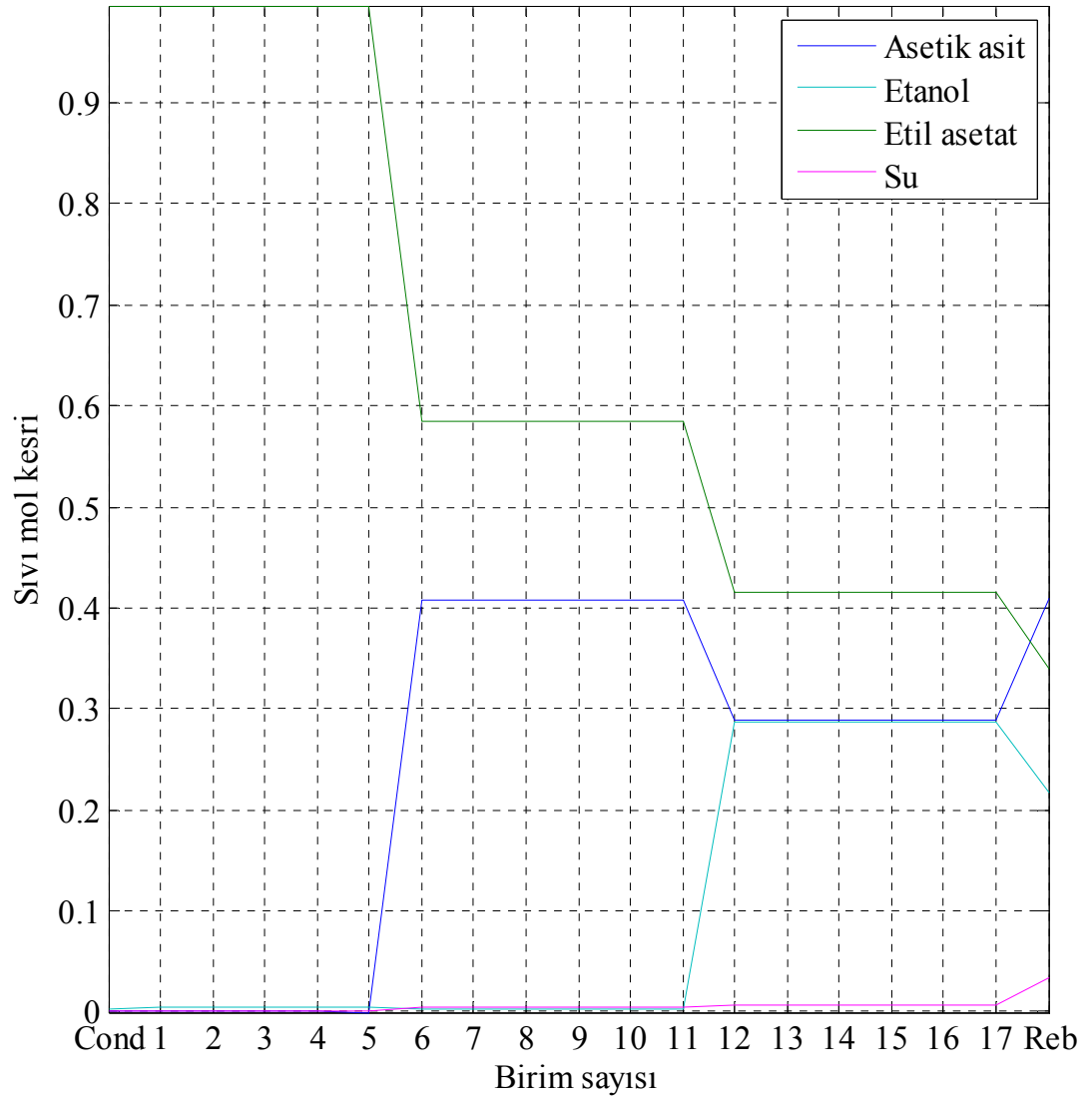
Şekil 4.15 Kazandaki bileşenlerin mol kesirlerinin teorik dinamik yanıtları
($R = 3$, $F = 1$ ve $Q = 0.630$ kJ/s)



Şekil 4.16 Yatışkın hal teorik sıcaklık profili ($R = 3$, $F = 1$ ve $Q = 0.630$ kJ/s)

Şekil 4.16’de gösterilen profil kolondaki yatışkın hal sıcaklık profilidir. Profilde görüldüğü gibi, tepkime bölgesinin sıcaklıkları yüksek olduğu görülmektedir. Bu bölgedeki sıcaklığın yüksek olması kolondaki gerçekleştirilen tepkimenin ekzotermik olmasından dolayıdır.

Teorik modellerin simülasyonundan elde edilen bir başka sonuç şekil 4.17’de verilen yatışkın hal bileşim profilidir. Profilde görüldüğü üzere, kolon tepesindeki etil asetatın mol kesri 0.9963’tür. Bu istenilen ürün açısından oldukça tatmin edici bir sonuçtur.



Şekil 4.17 Yatışkın hal teorik mol kesri profilleri ($R = 3$, $F = 1$ ve $Q = 0.630$ kJ/s)

Kurulan teorik modellerin gerçek kolonu ne kadar iyi temsil ettiğini öğrenmek için, teorik simülasyondan elde edilen sonuçlar, özellikle üst birim ve alt birim sıcaklıkları, deneysel simülasyondan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma çizelge 4.4'de verilmiştir. Çizelgede de görüldüğü gibi benzetim sonuçları deneysel sonuçlarla uyum içinde olduğunu söyleyebiliriz. Teorik modelin sayısal olarak MATLAB ortamında çözümü yavaş olduğundan bu modelin kontrol amaçlı kullanılmasında bu bakımdan sakıncalar vardır. Dolayısıyla kontrol amaçlı proses modeli olarak parametrik modellerin kullanılması daha iyi olacağı kanısındayız.

Çizelge 4.4 Deneysel ve teorik sıcaklıkların karşılaştırılması

Tanım	Değer	
	Üst ürün	Alt bölge
Deneysel sıcaklık (°C)	76.52	91.96
Teorik sıcaklık (°C)	77.33	89.22
Mutlak hata (°C)	0.81	2.74
Yüzde mutlak hata (%)	1.06	2.98

4.4 Proses Tanımlama Bulguları

Bu çalışmadaki seçilen iki (2) kontrol edilen değişken (üst ürün sıcaklığı ve tepkime bölgesi sıcaklığı), iki (2) ayarlanabilen değişken (geri akma oranı ve besleme akış hızı oranı) ve bozucu etkisi (kazan ısısı) göz önüne alınarak, deney sisteminden elde edilen veriler kullanılarak “System Identification Toolbox” yardımıyla prosesin iletim fonksiyonu aşağıdaki Denklem 3.73 - 3.75’te gösterildiği gibi kurulmuştur. Denklemlerdeki parametreler çizelge 4.5’te bulunmaktadır.

Çizelge 4.5’e bakılırsa, bazı statik kazançlar pozitif değerler iken bazıları negatif değerlerdir. Bu statik kazançların işaret değişikliği, karmaşıktan gelen tepkimeli damıtma kolonunun bir özelliğidir. Kazançlardan en yüksek değeri olan model tepkime bölgesi ile besleme akış hızı oranının arasındaki modeldir. Bunun nedeni, tepkime bölgesinde hem tepkime hem de ayırma aynı zamanda olması ve o bölgedeki prosesin karmaşığındandır.

Çizelge 4.5 Proses iletim fonksiyonu parametreleri

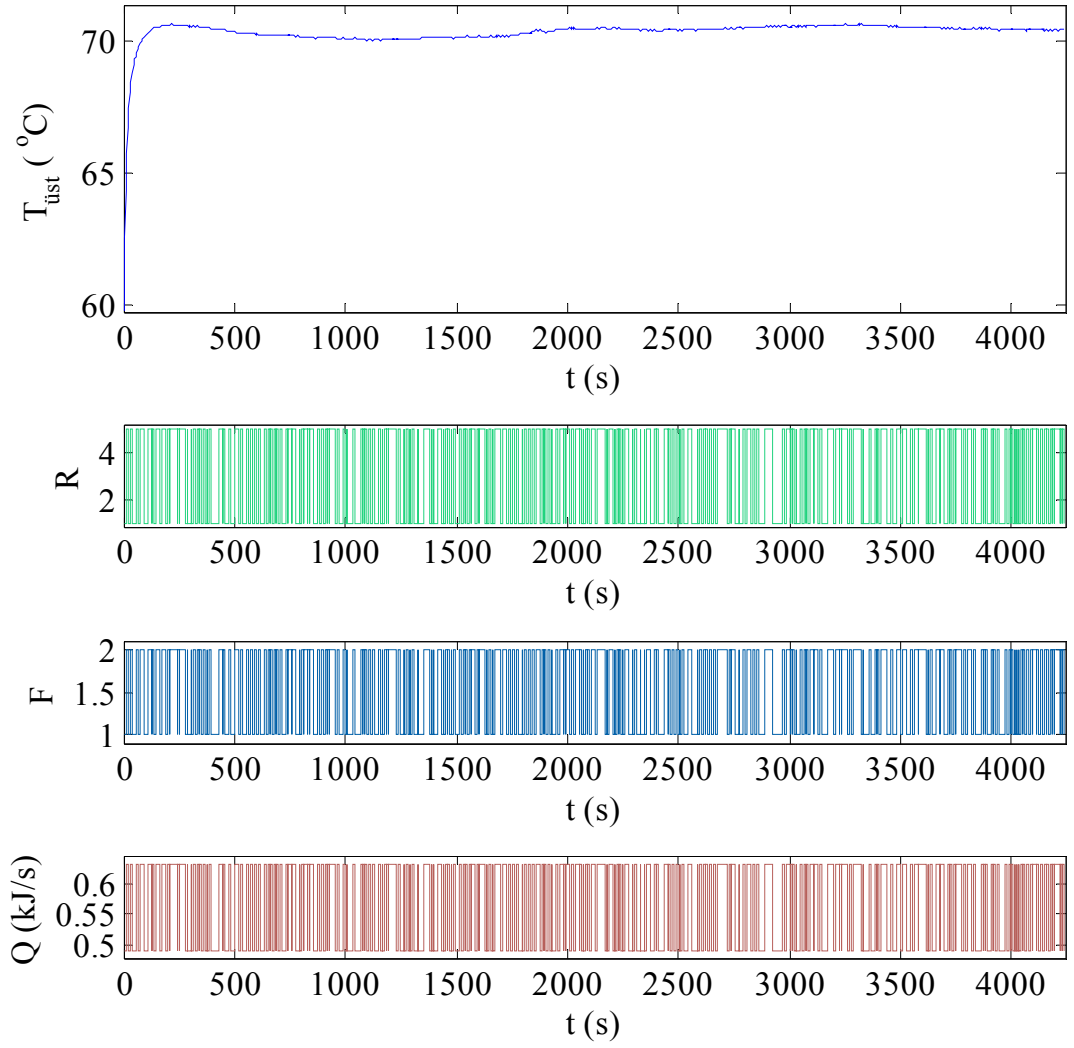
İletim fonksiyonu	k_p	τ (dak)	T_d (dak)
g_{11}	-79.321	5.503516	0.00092
g_{12}	-1.3652	5.184786	0.495887
g_{13}	-89.1061	5.169331	0.001784
g_{21}	31.94718	8.465251	0.489046
g_{22}	427.8996	5.266308	0.009036
g_{23}	-18434.9	5.290776	0.009019
g_{31}	-739.469	35.64333	8.59E-06
g_{32}	6.791428	1.005618	0.499407
g_{33}	-231.189	0.790481	0.5

Prosesin zaman sabitlerine bakıldığında, en yüksek değerine sahip olan model alt bölge sıcaklığı ile geri akma oranının arasındaki modeldir. Demek ki herhangi bir etki prosese verildiğinde bu proses model kısmının etkisi prosesin yatışkın hale gelmesini çok etkilemektedir.

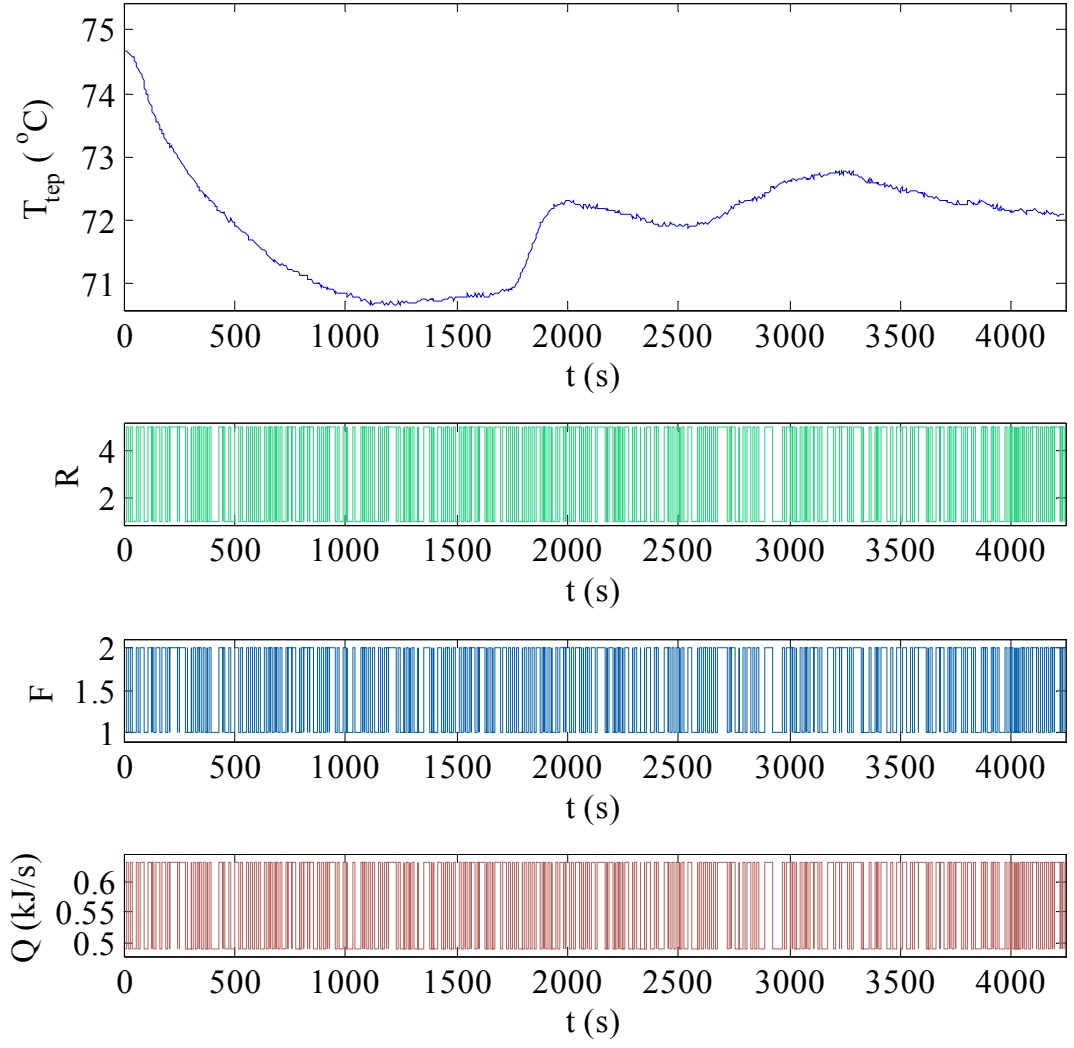
Üstelik çizelge 4.5 gösterildiği gibi, üst ürün sıcaklığı ile besleme akış hızı oranının arasındaki modelin gecikme zamanı en yüksek değerde olup, yaklaşık 0.5 dak, olarak çıkmıştır. Yani, bu sistemin çıktı değişkenleri girdi değişkenlerine etki verildiğinde 0.5 dakikadan sonra yanıtım vereceği anlamına gelmektedir.

4.5 Yapay Sinir Ağı Modeli Bulguları

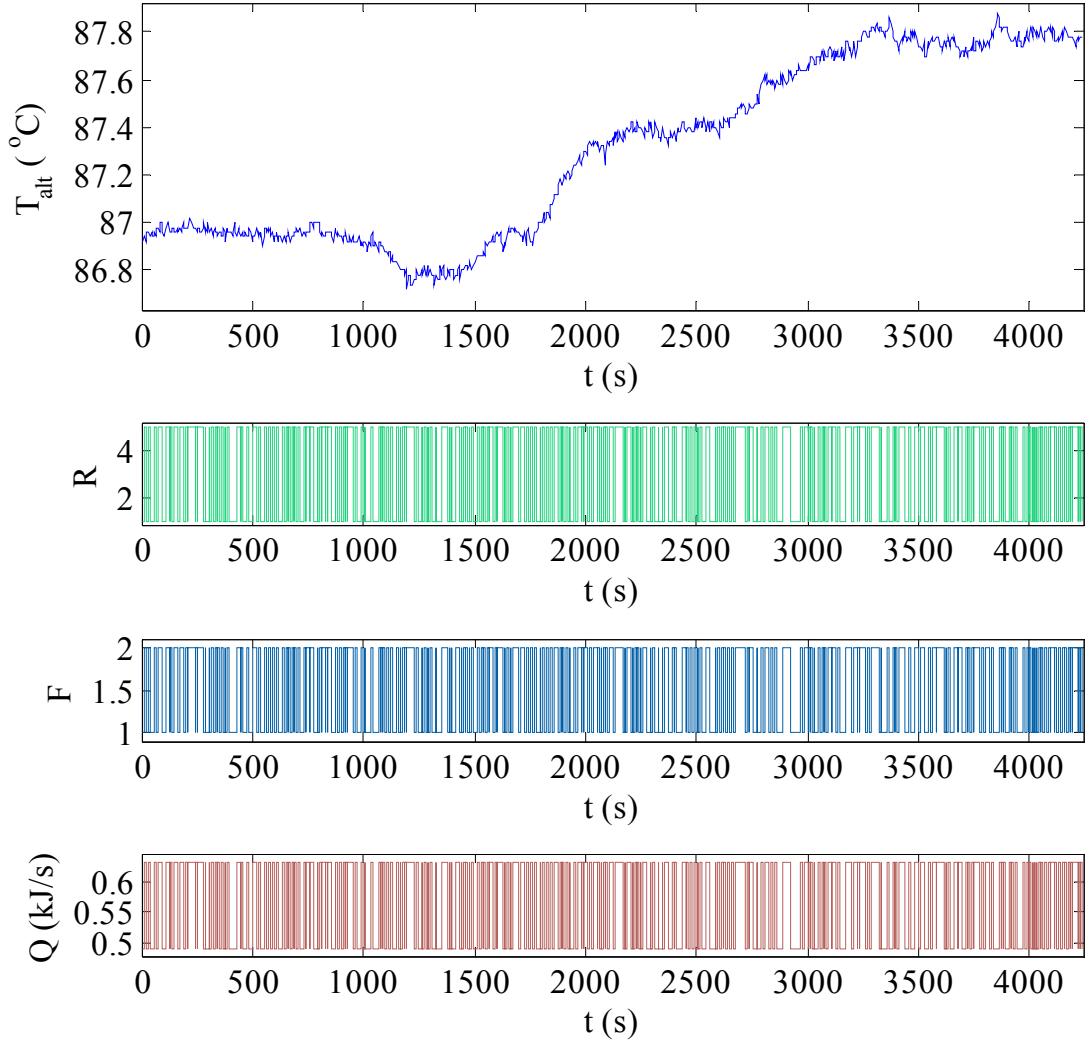
Böyle karmaşık bir proses için denetim algoritmasının oluşturulması için iyi bir modele ihtiyaç vardır. Bu sebeple, literatürden edinen bilgilere göre, yapay sinir ağları çok karmaşık prosesleri iyi temsil ettiğinden dolayı, bu çalışmada da denetim model olarak yapay sinir ağı modeli kullanılmaktadır. Yapay sinir ağı modelleri oluşturulması için deneysel çalışmalardan elde edilen veriler kullanılmıştır. Kullanılan veriler, üst ürün, tepkime bölgesi ve alt bölge için sırasıyla şekil 4.18, 4.19 ve 4.20’te gösterilmektedir.



Şekil 4.18 Üst ürün sıcaklığı yapay sinir ağı modeli için kullanılan veriler
(R = PRBS, 1 – 3; F = PRBS, 1 – 2; Q = PRBS, 0.46 – 0.630 kJ/s)

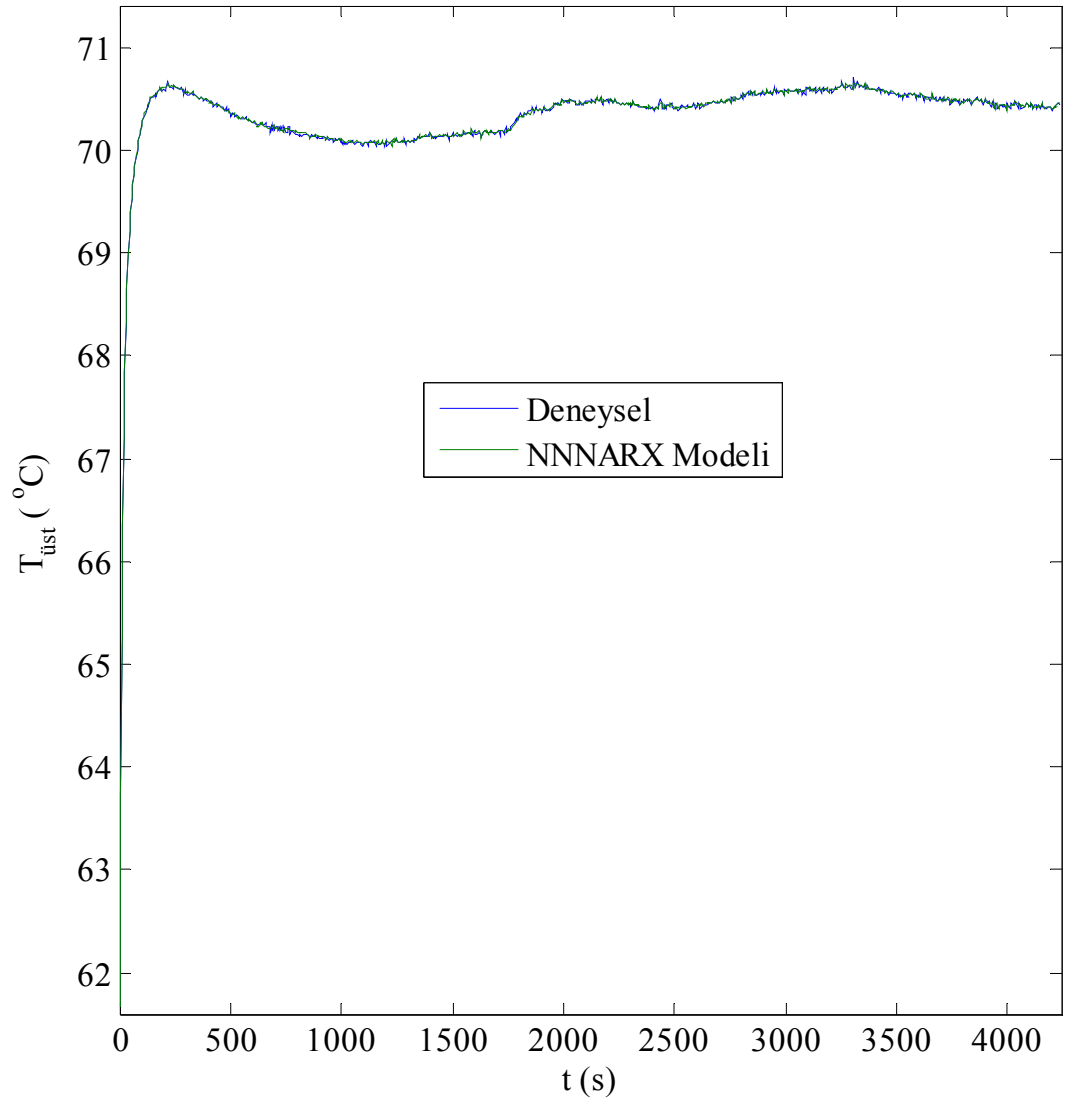


Şekil 4.19 Tepkime bölgesi sıcaklığı yapay sinir ağı modeli için kullanılan veriler
(R = PRBS, 1 – 3; F = PRBS, 1 – 2; Q = PRBS, 0.46 – 0.630 kJ/s)

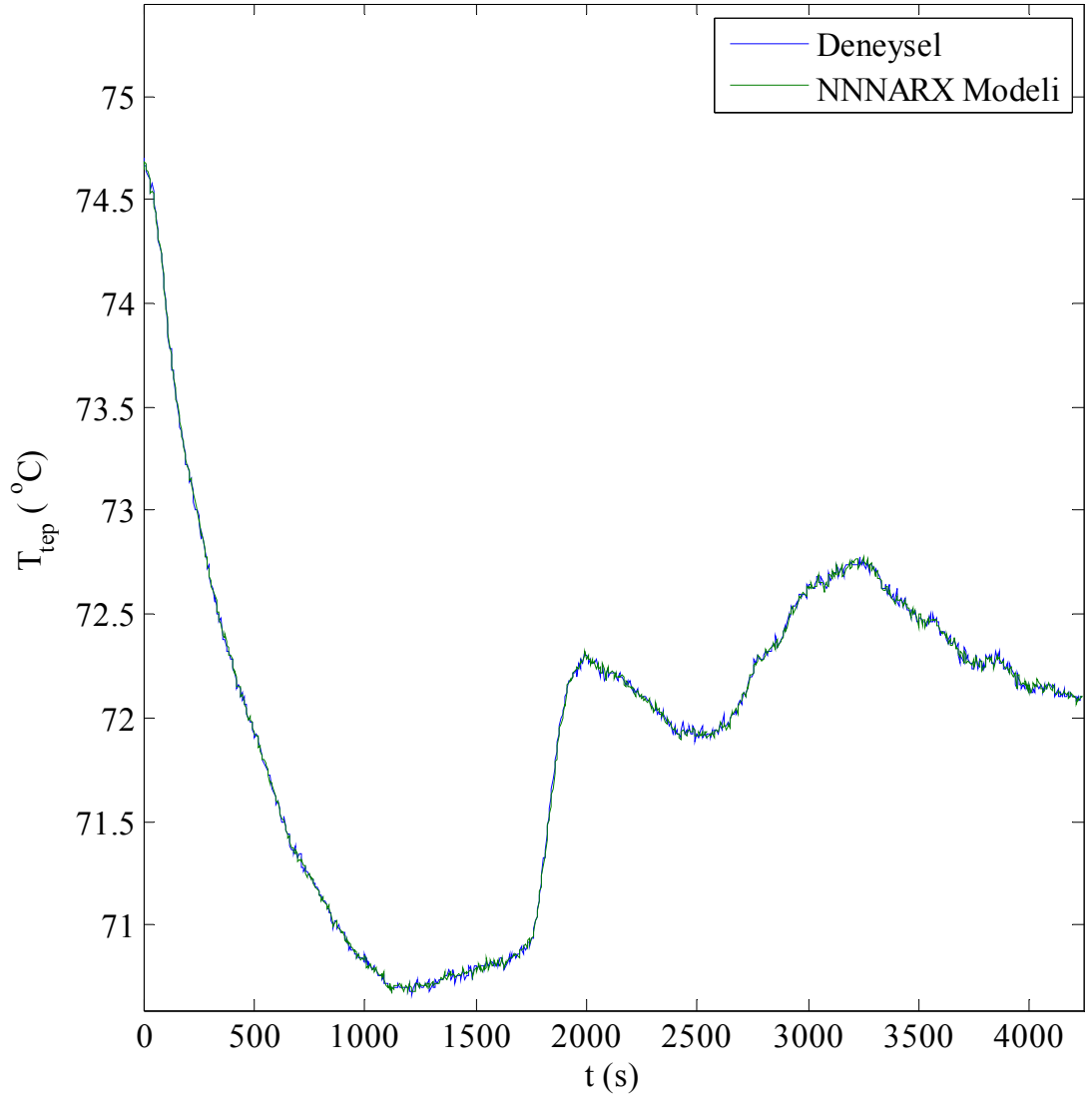


Şekil 4.20 Alt bölge sıcaklığı yapay sinir ağı modeli için kullanılan veriler
(R = PRBS, 1 – 3; F = PRBS, 1 – 2; Q = PRBS, 0.46 – 0.630 kJ/s)

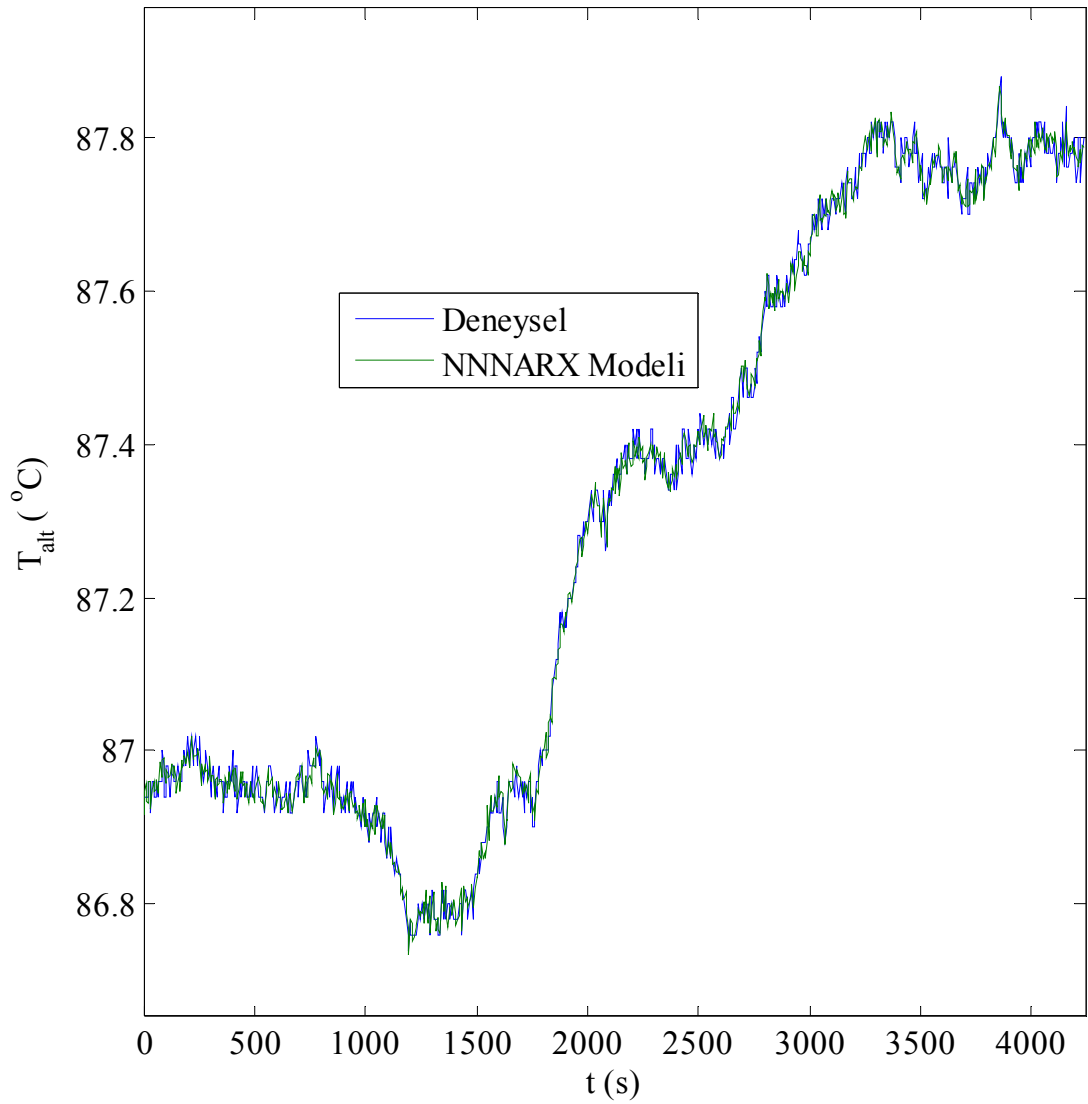
Yapay sinir ağı modelinin oluşturulmasından sonra, elde edilen yapay sinir ağı modelleri benzetilmiştir ve benzetim sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın sonucu şekil 4.21 - 4.23’da gösterilmektedir.



Şekil 4.21 Üst ürün için deneysel sıcaklıklar ile yapay sinir ağı ile tahmin edilen sıcaklıkların karşılaştırılması



Şekil 4.22 Tepkime bölgesi için deneysel sıcaklıklar ile yapay sinir ağı ile tahmin edilen sıcaklıkların karşılaştırılması



Şekil 4.23 Alt bölge için deneysel sıcaklıklar ile yapay sinir ağı ile tahmin edilen sıcaklıkların karşılaştırılması

Karşılaştırma sonuçlarına bakılırsa, yapay sinir ağı model sonuçları deneysel verilerle çakıştığını ve modelin deney sistemini çok iyi temsil ettiğini söyleyebiliriz.

4.6 Kontrol Çalışması Bulguları

Giriş bölümünde de belirtildiği gibi 70.75 °C’de sıcaklıkta üst üründe maksimum elde edilebilecek etil asetat derişimi etil asetat-su azeotrop karışımı için molce 0.69 (ağırlıkça %91.3)’dur. Dolayısıyla bu yüksek derişimde ürün elde etmek için üst ürün sıcaklığının 70.75 °C’de tutulması gerekir. Bunu başarabilmek için oluşturulan denetim algoritmaları hem set noktası etkisi hem de yük etkisi için benzetilmiştir. Üst ürün

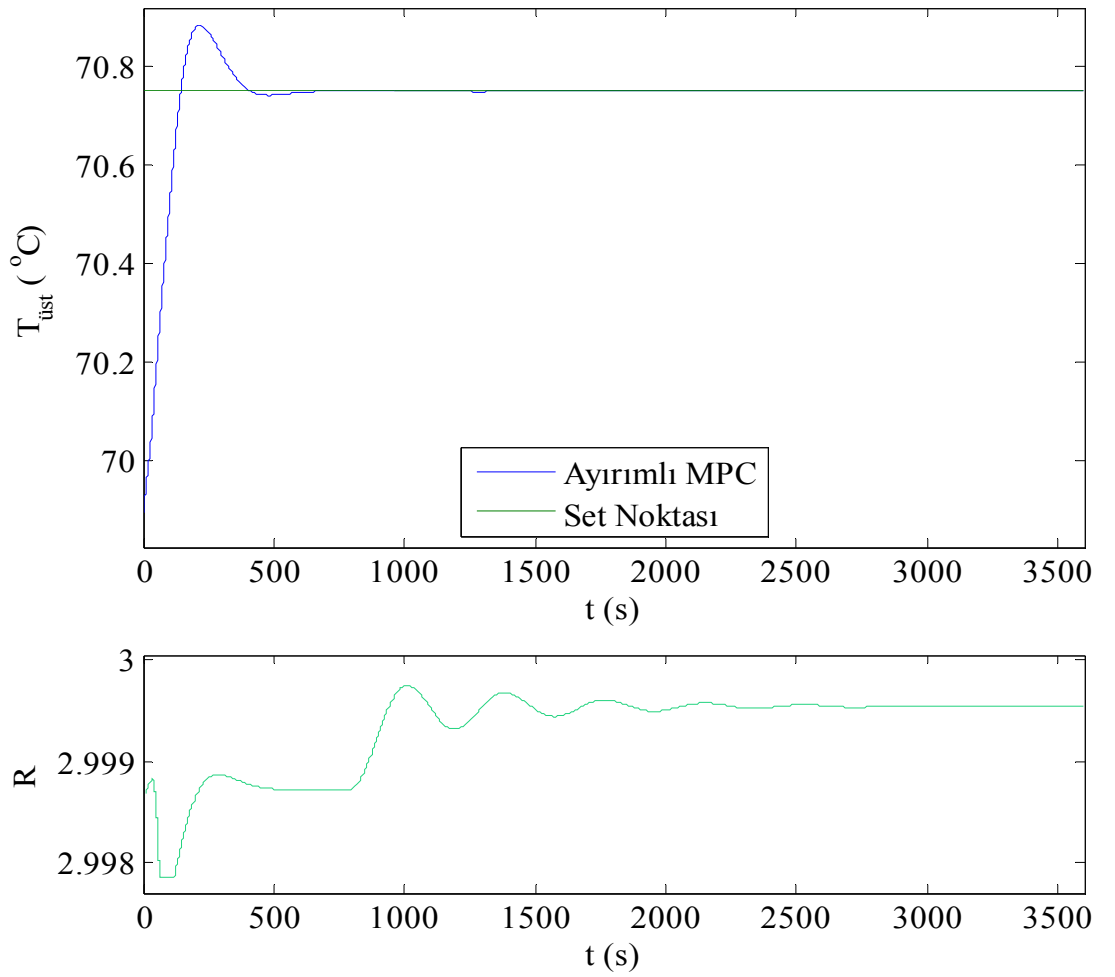
sıcaklığından ziyade tepkime bölgesi sıcaklığına da etki verilmiştir. Benzetimlerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki bölümlerde gösterilmektedir. Ayrıca, denetim çalışmaları hem teorik hem de deneysel olarak benzetilmiştir.

4.6.1 Teorik kontrol çalışmaları bulguları

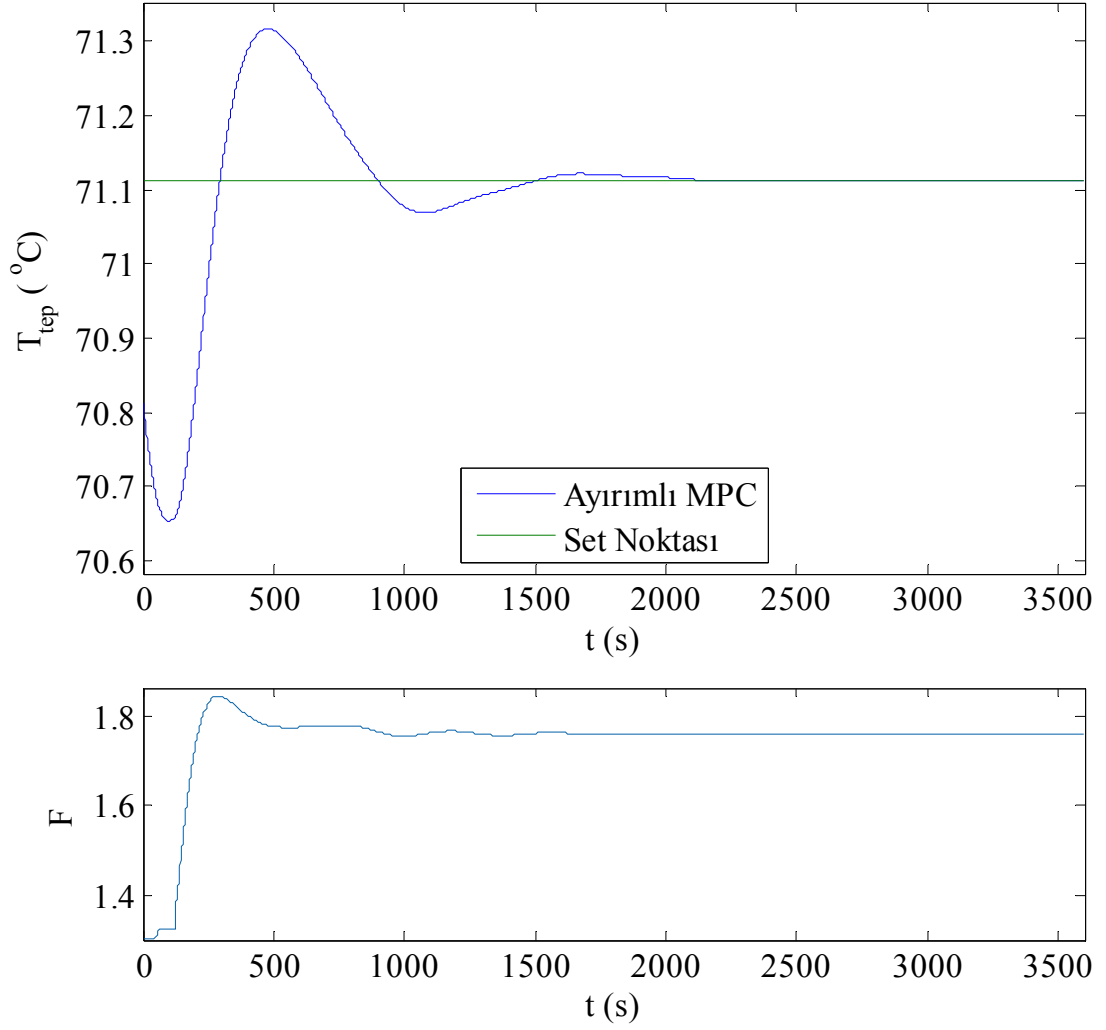
4.6.1.1 Teorik set noktası etkisi kontrol çalışmaları bulguları

4.6.1.1.1 Teorik set noktası etkisi ayırımı MPC bulguları

Set noktası etkisi çalışmalarında, üst ürün sıcaklığına 69.89 °C'den 70.75 °C'ye ve tepkime bölgesi sıcaklığına 70.81 °C'den 71.11 °C basamak etkileri verilmiştir ve ayırımı MPC'den elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekil 4.24 ve 4.25'te gösterilmektedir.



Şekil 4.24 Teorik set noktası etkisi çalışmasında ayırımı MPC kullanılarak üst ürün sıcaklığının kapalı döngü yanıtı ($T_{üst_sp} = 70.75$ °C)



Şekil 4.25 Teorik set noktası etkisi çalışmasında ayırımı MPC kullanılarak tepkime bölgesi sıcaklığının kapalı döngü yanıtı ($T_{tep_sp} = 71.11$ °C)

Şekil 4.24'te görüldüğü gibi, etki verildikten sonra, üst ürün sıcaklığını istenilen değere getirilmesi için geri akma oranının azaltıldığını böylece üst ürün sıcaklığındaki artışın durdurularak istenilen sıcaklığa getirilmeye çalışıldığı görülmektedir. Yaklaşık 8 dakika sonra istenilen set değerine getirilmiştir. Şekil 4.25'te ise tepkime bölgesi sıcaklığının set noktasına 70.81 °C'den 71.11 °C'ye pozitif etki verildiğinde kontrol sonuçları elde edilmiştir. Kontrolün ilk 8 dakikasında tepkime bölgesindeki aşırı sıcaklık yükselmesi olmasına rağmen sistem kontrol altında olduğundan ayarlanabilen değişken olan besleme akış hızı oranı artırılarak bu sıcaklık yükselişi engellenmiştir. Yaklaşık 2250 saniye sonra sıcaklık istenilen değere getirilmiştir ve orada tutulmuştur. Bu arada

besleme akış hızı oranı ise yaklaşık 1.75 değerinde tutulmuştur. Anlaşıldığı gibi, üst ürün sıcaklığı tepkime bölgesinden daha çabuk yatışkın hale gelmiştir. Bu, tepkime bölgesindeki olan karmaşık tepkimeden dolayıdır.

4.6.1.1.2 Teorik set noktası etkisi ayırimsız MPC bulguları

Ayrımlı model öngörmeli kontrolün yanında, ayırimsız model öngörmeli kontrol da gerçekleştirilmiştir. Ayrımlı MPC’de verilen set noktası etkilerinin aynısı verilerek benzetimden elde edilen sonuçlar yakınsamadığından dolayı gösterilememiştir.

4.6.1.1.3 Teorik set noktası etkisi klasik PIDC bulguları

Ayrımlı model öngörmeli ve ayırimsız model öngörmeli dışında, ayırimsız klasik oransal-integral-türevsel kontrolü (PIDC) benzetimi de yapılmıştır. Benzetimlerinden elde edilen sonuçlar yakınsamadığından dolayı gösterilememiştir.

4.6.1.1.4 Teorik set noktası etkisi kontrol performansları

Grafiklerin dışında, bu çalışmada kullanılan kontrol algoritmalarının performans kriterleri incelenmiştir. Teorik kontrol çalışmaları için kullanılan performans kriterleri hatanın mutlak değerleri toplamı (IAE) ve hatanın kareleri toplamıdır (ISE).

Teorik set noktası etkisi kontrol çalışmaları için hesaplanan kontrol performans değerleri çizelge 4.6’da görülmektedir.

Çizelge 4.6 Teorik set noktası etkisi kontrol çalışmaları için performans değerleri

Denetim yöntemi	IAE		ISE	
	$T_{üst}$	T_{tep}	$T_{üst}$	T_{tep}
DMPC	82.12	185.77	37.83	47.75
MPC	840547.56	36457797	2.05E+08	3.85E+11
PIDC	1.4E+142	5.2E+138	1.7E+287	2.3E+280

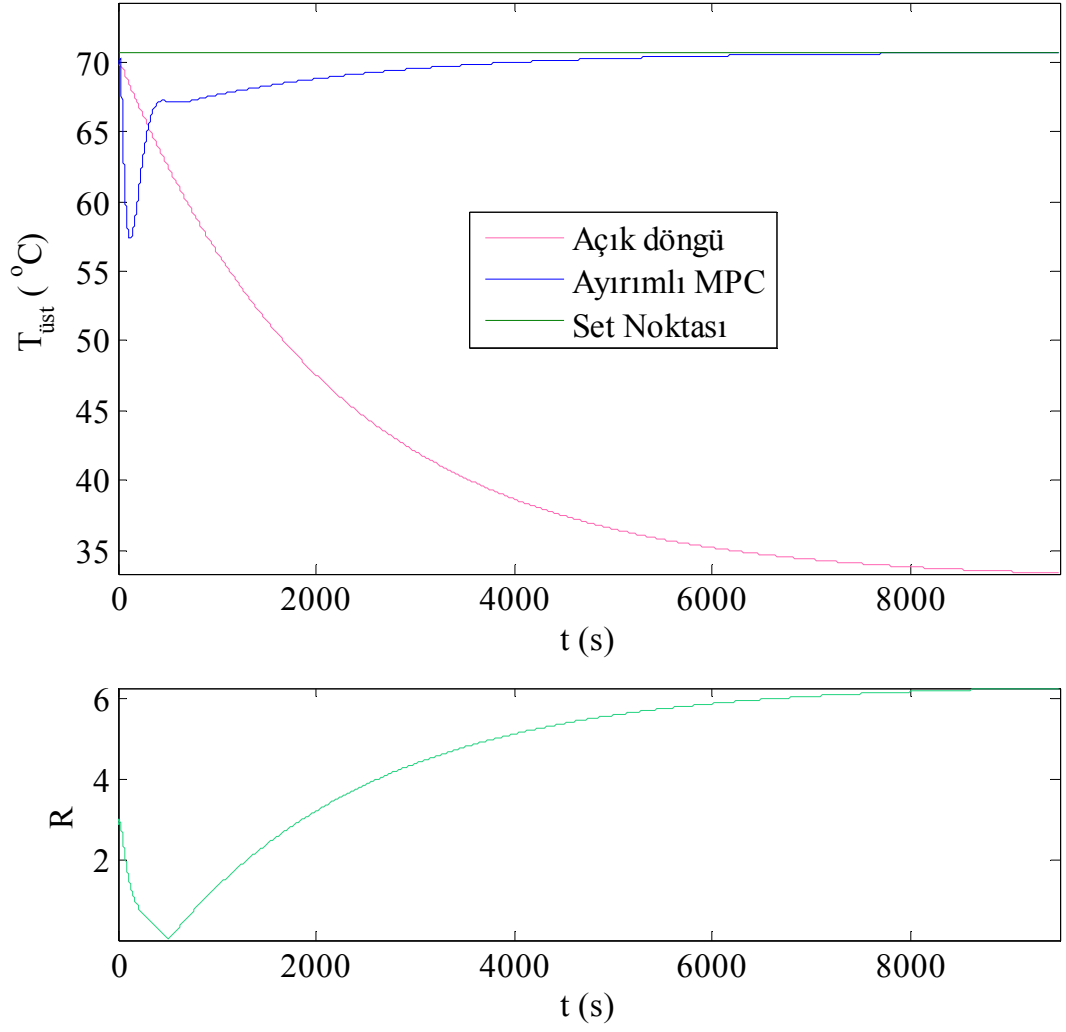
Yukarıdaki çizelge 4.6’da görüldüğü gibi, set noktası etkisi kontrol çalışmalarında ayrımlı MPC’nin IAE ve ISE değerleri hem üst ürün sıcaklığı hem de tepkime sıcaklığı için PIDC’ye göre daha küçüktür. Böylece, bu kontrol algoritmasının diğerleri (MPC ve klasik PIDC)’nin üzerine üstünlüğü ortaya çıkmıştır.

4.6.1.2 Teorik yük etkisi kontrol çalışmaları bulguları

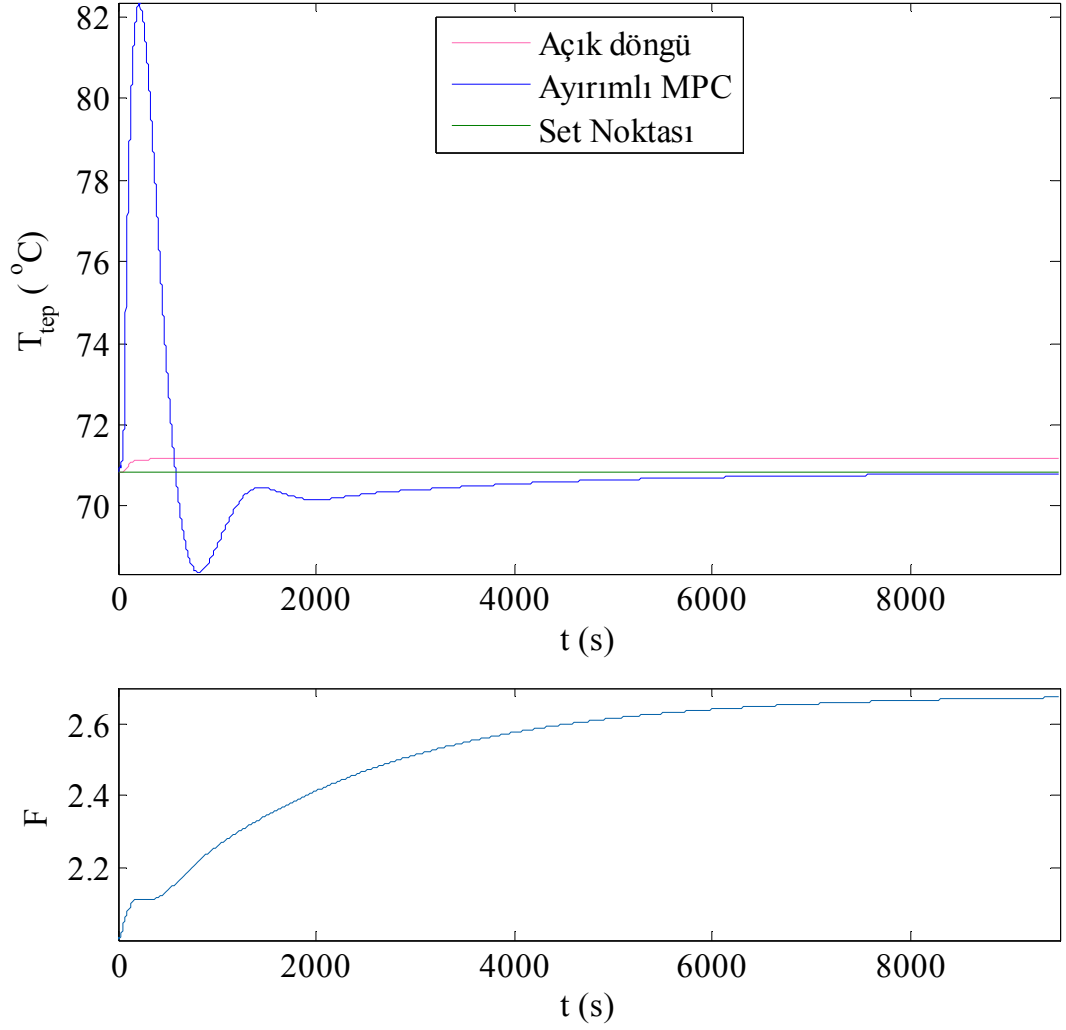
Bu çalışmada, set noktası etkisi kontrol çalışmalarında olduğu gibi, ayırmalı model öngörmeli, ayırmaz model öngörmeli ve oransal-integral-türevsel kontrolleri yük etkisi çalışması için benzetilmiştir. Burada, üst ürün sıcaklığı yatışkın halindeyken bir basamak etkisi ($Q = 0.420$ kJ/s'den 0.490 kJ/s'ye) bozucu değişkenine verilmiştir ve sistemin yanıtları alınmıştır.

4.6.1.2.1 Teorik yük etkisi ayırmalı MPC bulguları

Ayırmalı model öngörmeli kontrolünün yük etkisi olarak kazana verilen ısı miktarı seçilmiştir. Kazan ısısına verilen etkide kontrol çalışması benzetimlerinden elde edilen sonuçlar şekil 4.26 ve 4.27'de üst ürün sıcaklığı ve tepkime bölgesi sıcaklığı sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 4.26 Teorik yük etkisi çalışmasında ayırımı MPC kullanılarak üst ürün sıcaklığının kapalı döngü yanıtı ($Q = 0.420$ kJ/s'den 0.490 kJ/s'ye)



Şekil 4.27 Teorik yük etkisi çalışmasında ayrılmı MPC kullanılarak tepkime bölgesi sıcaklığının kapalı döngü yanıtı ($Q = 0.420$ kJ/s'den 0.490 kJ/s'ye)

Şekillere bakılınca, bozucu değişkenine bir basamak etkisi ($Q = 0.420$ kJ/s'den 0.490 kJ/s'ye) verildikten sonra, sistemin yatışkın hale gelmesi çok uzun (bir saatten fazla) sürmüştür. Şekil 4.26'da görüldüğü gibi üst ürün sıcaklığın yatışkın hale geldiği geri akma oranı yaklaşık 6'dır. Şekil 4.27'de ise tepkime bölgesi sıcaklığının istenilen set noktasına gelme zamanı yaklaşık 6000 s olup, ayarlanabilir değişken olan besleme akış hızları oranı değeri yaklaşık 2.6 olmuştur.

4.6.1.2.2 Teorik yük etkisi ayırimsız MPC bulguları

Ayırimsız çalışmalarında, model öngörmeli kontrolü benzetildiğinde, alınan sistemin yanıtları yakınsamadığından dolayı gösterilememiştir.

4.6.1.2.3 Teorik yük etkisi klasik PIDC bulguları

Son teorik çalışması olarak, klasik oransa-integral-türevsel kontrolü benzetilmiştir ve benzetimlerden çıkan sonuçlar yakınsamadığından dolayı gösterilememiştir.

4.6.1.2.4 Teorik set noktası etkisi kontrol performansları

Set noktası etkisi teorik kontrol çalışmalarında yapıldığı gibi, bu çalışmada da kontrol performans değerleri, Hatanın Mutlak Değerleri (IAE) toplamı ve Hatanın Kareleri Toplamıdır (ISE), hesaplanmıştır ve yük etkisi teorik kontrol çalışmaları için hesaplanan IAE ve ISE değerleri çizelge 4.7’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.7 Teorik yük etkisi kontrol çalışmaları için performans değerleri

Denetim yöntemi	IAE		ISE	
	T _{üst}	T _{tep}	T _{üst}	T _{tep}
DMPC	11687.16	6434.44	47523.99	34102.82
MPC	7.7E+153	1.9E+143	2.3E+307	1.5E+286
PIDC	1.7E+112	-	2.1E+227	-

Ayrımlı MPC’nin kontrol performans değerleri en küçük olduğu için denenen kontrol algoritmaların arasında en iyi olduğu bir kez daha ispatlanmıştır.

Teorik kontrol çalışmasından sonra, oluşturulmuş kontrol algoritması deney sistemine bağlanıp uygulanmıştır. Yani, kontrol algoritması deney sistemi üzerinde benzetilmiştir. Deneysel benzetimlerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki bölümde yer almaktadır.

4.6.2 Deneysel kontrol çalışmaları bulguları

Teorik kontrol çalışmasının yanında, deneysel kontrol çalışmaları da yapılmıştır. Teorik kontrol çalışmalarında olduğu gibi, deneysel kontrol çalışmaları için de hem set noktası etkisi hem yük etkisi kontrol çalışmaları yapılmıştır.

4.6.2.1 Deneysel set noktası etkisi kontrol çalışmaları bulguları

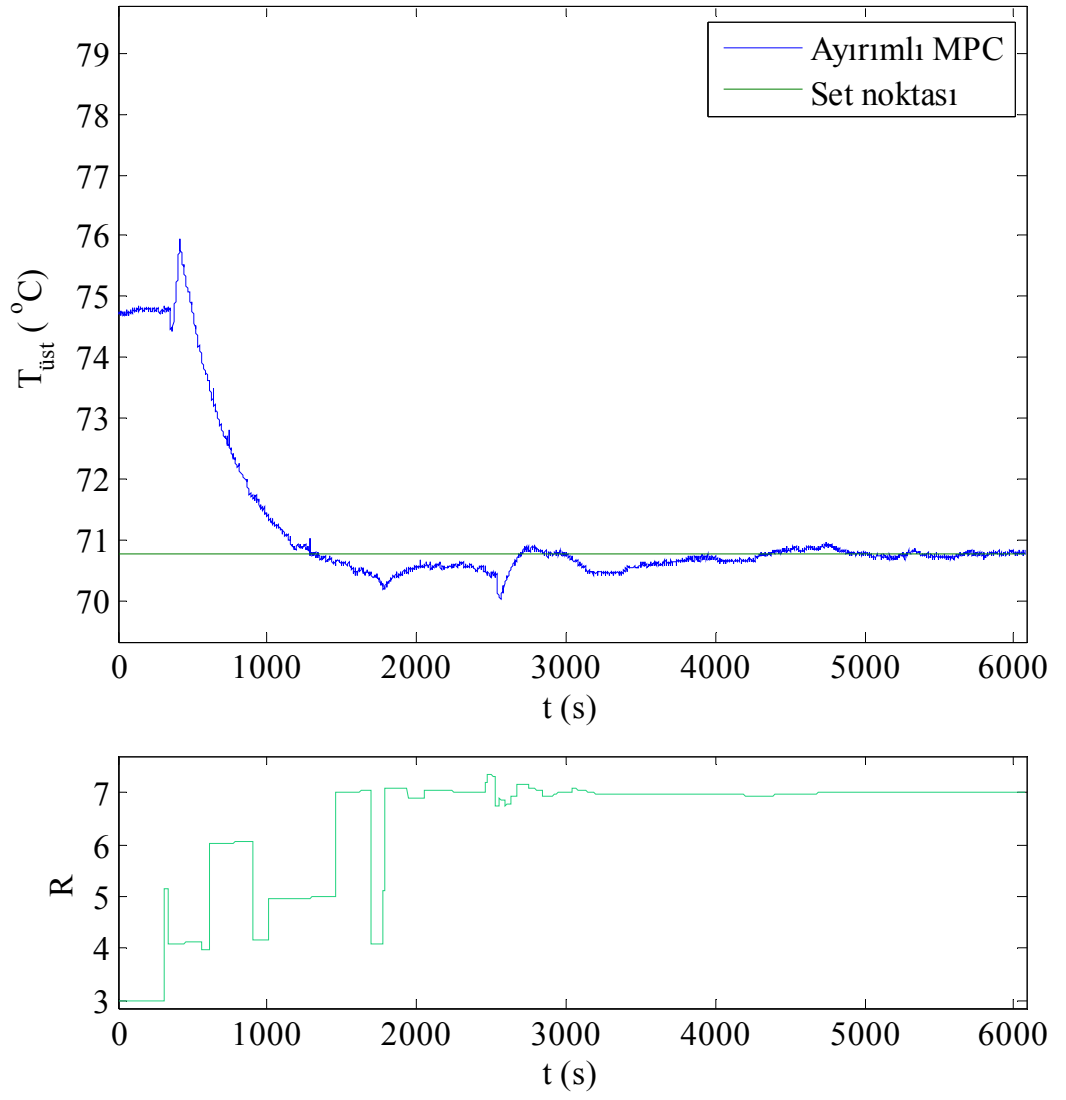
Bu çalışma kapsamında, ayırmalı model öngörmeli kontrolü, ayırmısız model öngörmeli kontrolü ve klasik oransal-integral-türevsel kontrolü olduğundan dolayı, teorik kontrol çalışmasında yapıldığı gibi, deneysel set noktası etkisi kontrol benzetimlerinde de üç kontrol algoritma benzetilmiştir.

4.6.2.1.1 Deneysel set noktası etkisi ayırmalı MPC bulguları

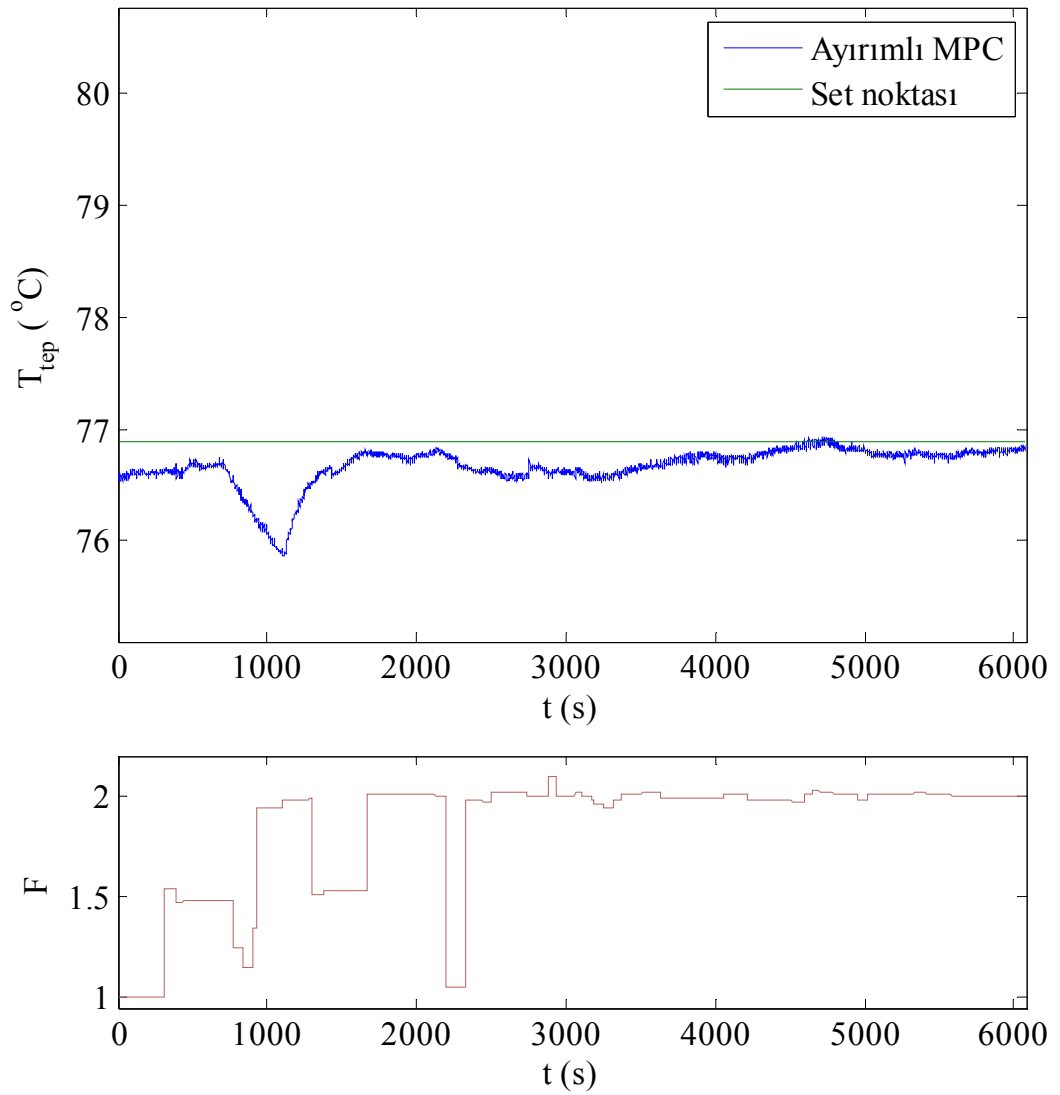
Set noktası etkisi çalışmalarında, üst ürün sıcaklığına 74.76 °C'den 70.75 °C'ye ve tepkime bölgesi sıcaklığına 76.58 °C'den 76.88 °C'ye basamak etkileri verilmiştir ve ayırmalı MPC'den elde edilen deneysel sonuçlar şekil 4.28'da üst ürün sıcaklığı ve şekil 4.29'da ise tepkime bölgesi sıcaklığı gösterilmektedir.

Şekil 4.28'de görüldüğü gibi, ayırmalı model öngörmeli kontrolü benzetildiğinde, üst ürün sıcaklığı 4,000 saniye civarında yatışkın ve istenilen değere çok yakın hallere gelmiştir. Bu durumda ayarlanabilir değişken olan geri akma oranının yatışkın hal değeri ise yaklaşık 7 olmuştur.

Şekil 4.29'a bakıldığında, yaklaşık 5,000 saniye içerisinde tepkime bölgesi sıcaklığı istenilen set noktasına yakın gelmiştir. Aynı şekilde, bu sürenin uzun olması tepkime bölgesindeki olan aynı zamandaki hem tepkime hem de ayırmadan kaynaklanmıştır. Ayarlanabilen değişken olan besleme akış hızı oranı ise set noktasına ulaşıldığında yaklaşık 2 değerinde olup bu değerde sabit kalmıştır.



Şekil 4.28 Deneysel set noktası etkisi çalışmasında ayırımı MPC kullanılarak üst ürün sıcaklığının kapalı döngü yanıtı ($T_{üst_sp} = 70.75$ °C)



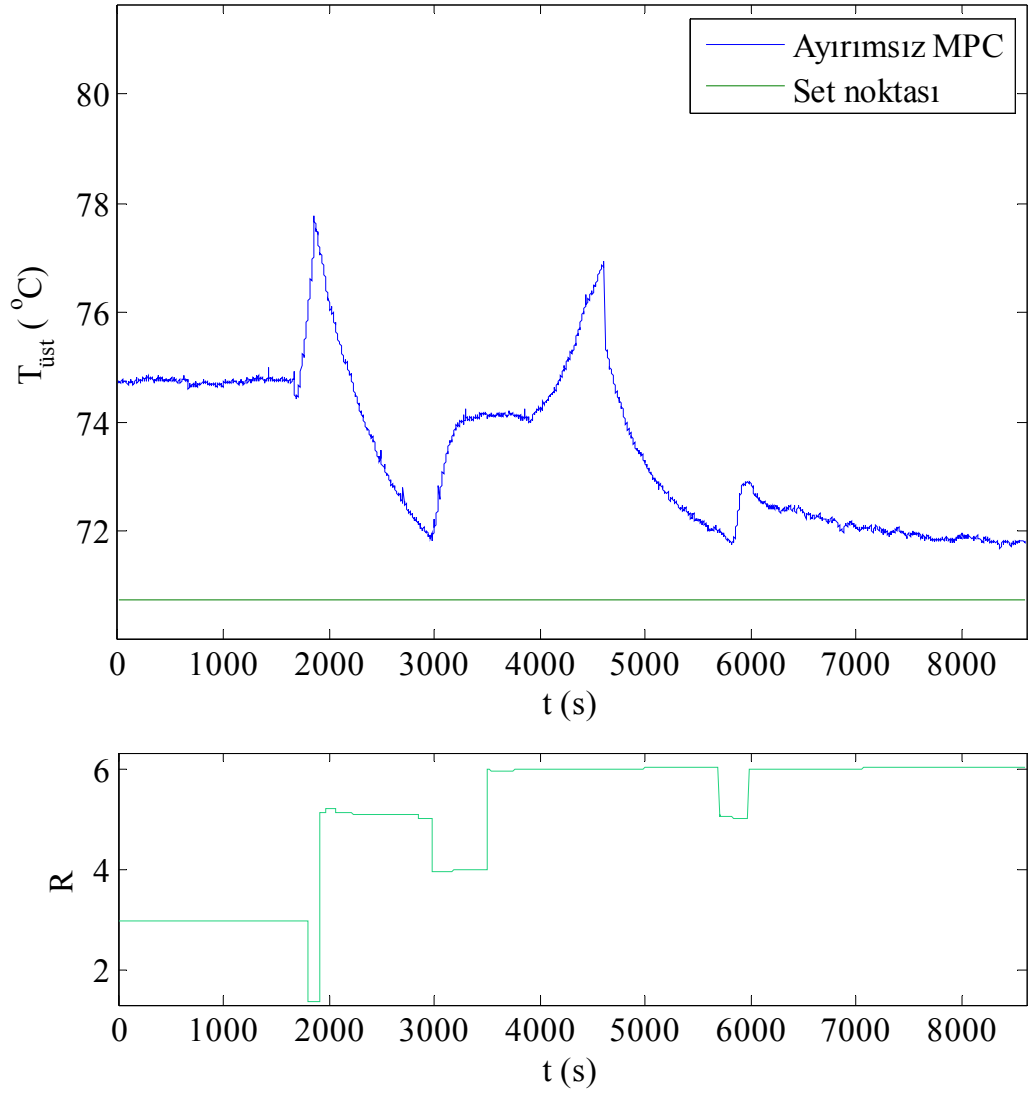
Şekil 4.29 Deneysel set noktası etkisi çalışmasında ayırımı MPC kullanılarak tepkime bölgesi sıcaklığının kapalı döngü yanıtı ($T_{tep_sp} = 76.88$ °C)

4.6.2.1.2 Deneysel set noktası etkisi ayırimsız MPC bulguları

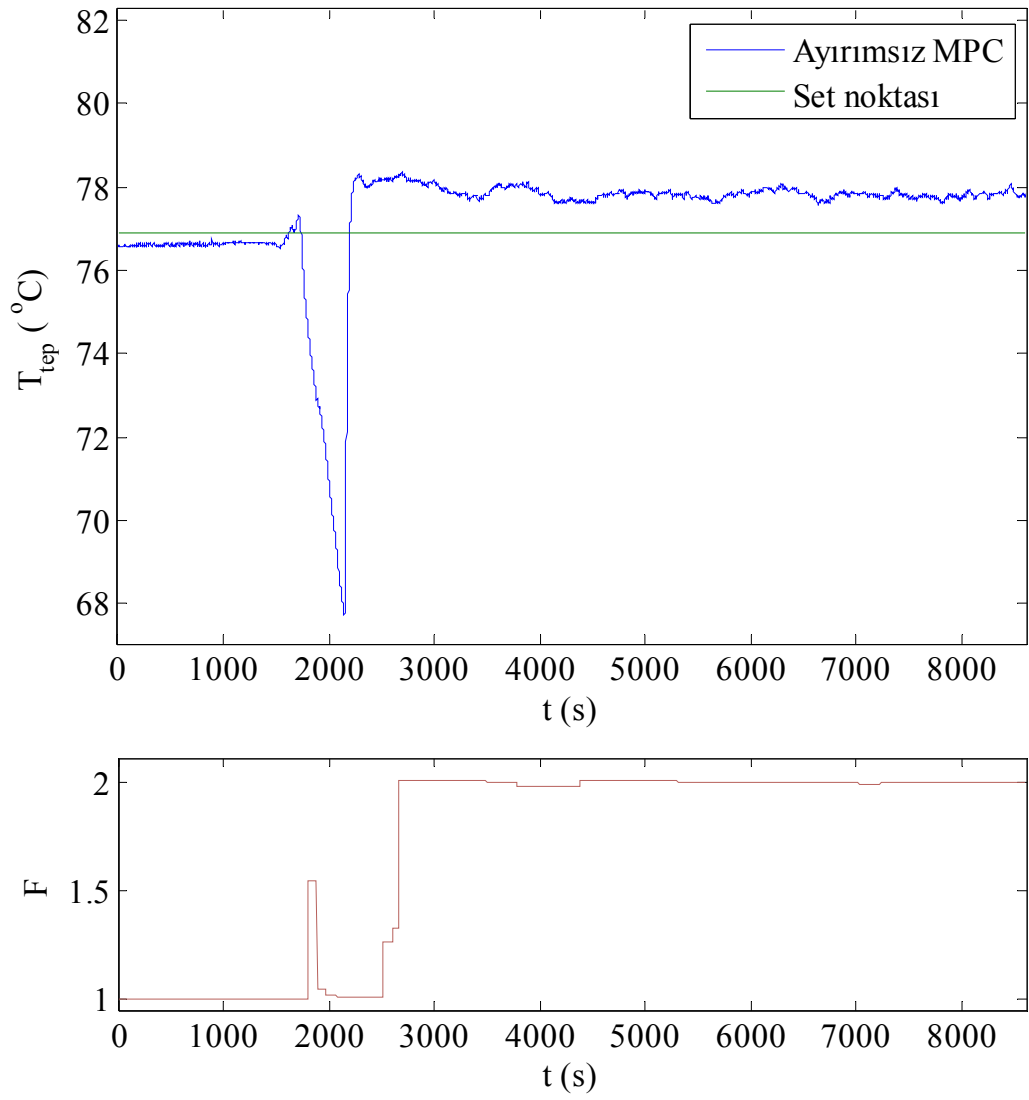
Deneysel ayırimsız model öngörmeli kontrolü yapılıncı elde edilen sistemin yanıtları şekil 4.30'da üst ürün sıcaklığı ve şekil 4.31'de tepkime bölgesi sıcaklığı olarak gösterilmektedir.

Şekil 4.30'da görüldüğü gibi, ayırimsız model öngörmeli kontrolü yanıtı yaklaşık 6000 saniye kadar kararsız bir durum göstermiştir ve ondan sonra da yaklaşık 8500 saniye kadar yatışkın hale gelmemiştir.

Şekil 4.31’de görülen yanıtım ayırimsız model öngörmeli kontrolü benzetildiğinde tepkime bölgesi için elde edilen yanıtımdır. Yanıtımdan yaklaşık 8500 saniye bir kontrol çalışması sonucunda sonra tepkime bölgesi sıcaklığı yatışkın hale gelmiştir, ancak istenilen set noktasına göre offset olduğu gözlenmiştir.



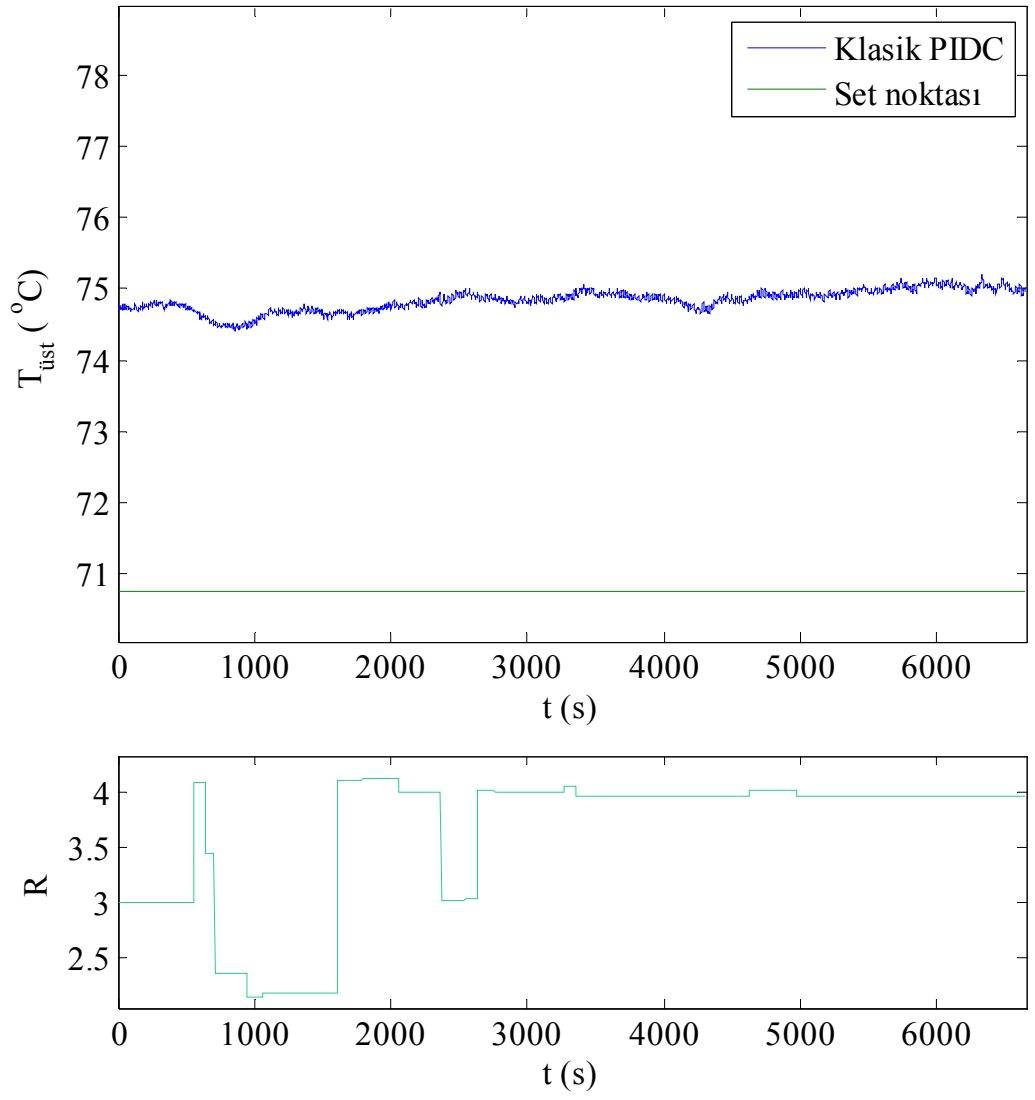
Şekil 4.30 Deneysel set noktası etkisi çalışmasında ayırimsız MPC kullanılarak üst ürün sıcaklığının kapalı döngü yanıtımı ($T_{üst_sp} = 70.75$ °C)



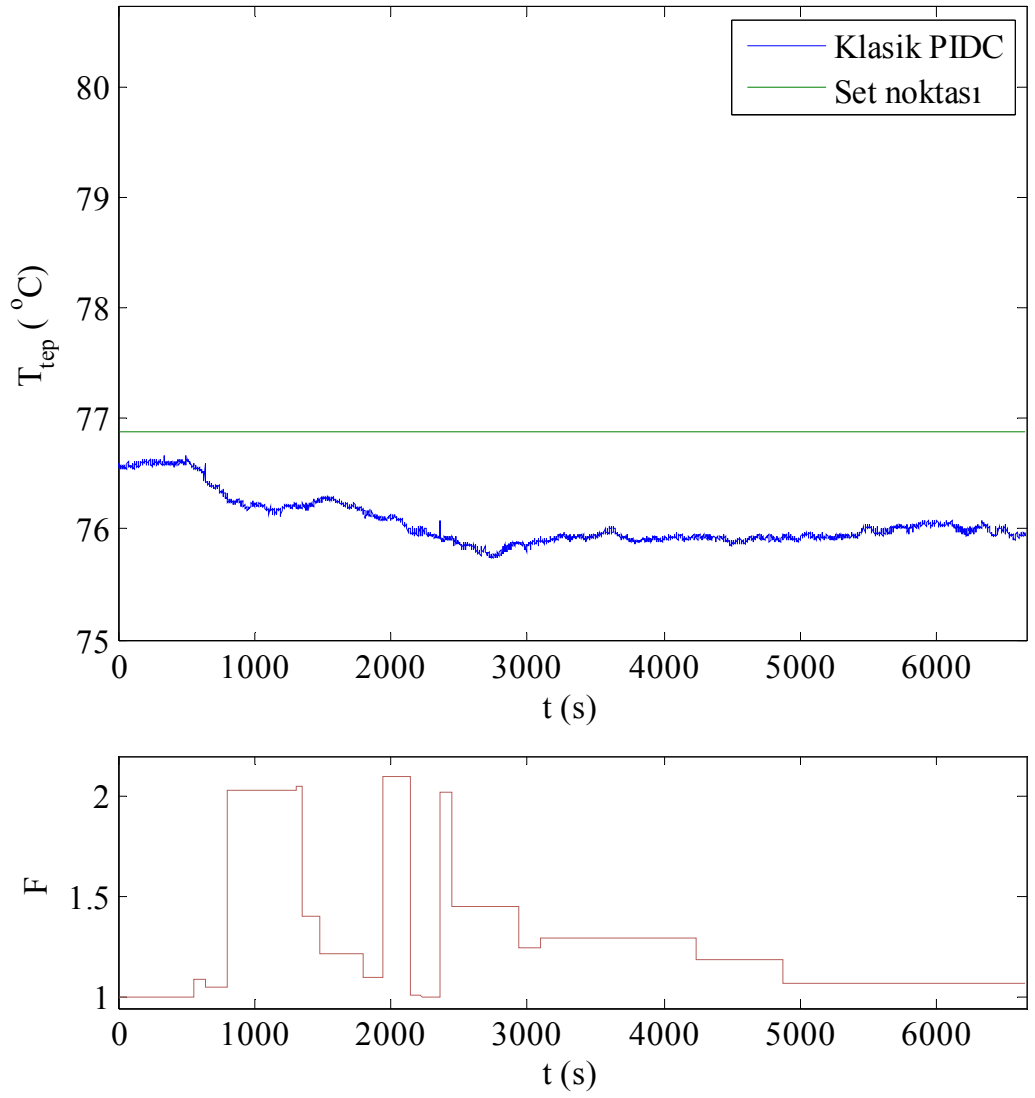
Şekil 4.31 Deneysel set noktası etkisi çalışmasında ayırimsız MPC kullanılarak tepkime bölgesi sıcaklığının kapalı döngü yanıtını ($T_{tep_sp} = 76.88$ °C)

4.6.2.1.3 Deneysel set noktası etkisi klasik PIDC bulguları

Bu çalışmada, klasik oransan-integral-türevsel kontrolü de benzetilmiştir ve set noktası etkisi kontrol çalışması için elde edilen sonuçlar şekil 4.32 ve şekil 4.33'te gösterilmektedir. Şekillerde görüldüğü gibi, hem üst ürün sıcaklığı hem de tepkime bölgesi sıcaklığı istenilen set noktalarına gelemedikleri gözlenmiştir.



Şekil 4.32 Deneysel set noktası etkisi çalışmasında klasik PIDC kullanılarak üst ürün sıcaklığının kapalı döngü yanıtımı ($T_{\text{üst_sp}} = 70.75$ °C)



Şekil 4.33 Deneysel set noktası etkisi çalışmasında klasik PIDC kullanılarak tepkime bölgesi sıcaklığının kapalı döngü yanıtımı ($T_{tep_sp} = 76.88$ °C)

4.6.2.1.4 Deneysel set noktası etkisi kontrol performansları

Kontrol algoritmalarının karşılaştırılmak amacıyla, kontrol performansları hesaplanmıştır. Bu deneysel çalışmada da kullanılan kontrol performansları Hatanın Mutlak Değerleri (IAE) toplamı ve Hatanın Kareleri Toplamıdır (ISE). Hesaplanan değerler, her kontrol algoritması ve her bölge sıcaklığı için, çizelge 4.8’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.8 Deneysel set noktası etkisi kontrol çalışmaları için performans değerleri

Denetim yöntemi	IAE		ISE	
	$T_{üst}$	T_{tep}	$T_{üst}$	T_{tep}
DMPC	64.14	21.90	192.26	7.70
MPC	396.06	149.54	1370.08	335.11
PIDC	453.87	90.82	1858.23	79.66

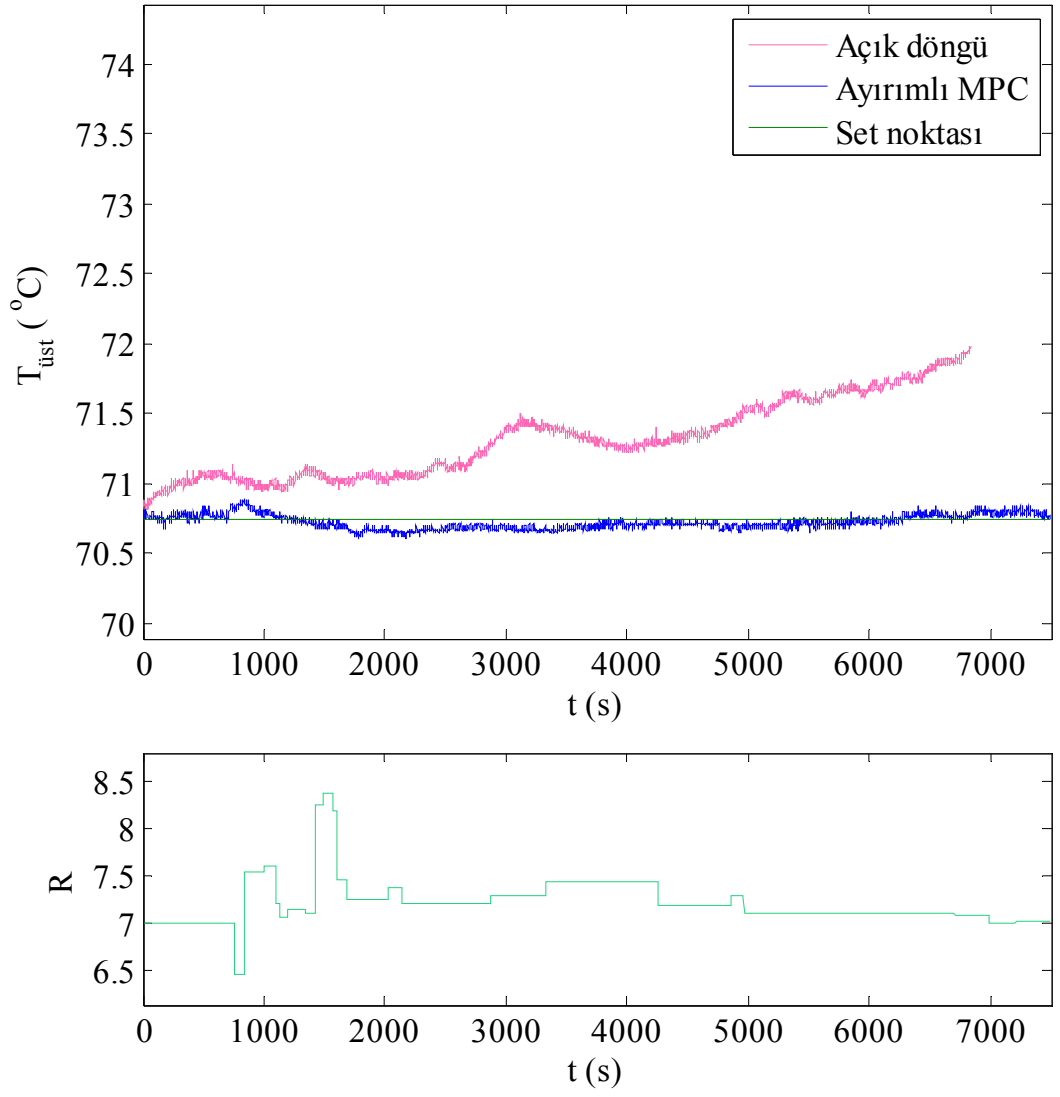
Çizelge 4.8’ya bakıldığında, deneysel set noktası etkisi kontrol çalışmaları için ayrılmı MPC’nin üstünlüğü görünebilir çünkü çizelgedeki bulunan IAE ve ISE değerlerinden en küçük olan ayrılmı MPC’ye aittir.

4.6.2.2 Deneysel yük etkisi kontrol çalışmaları bulguları

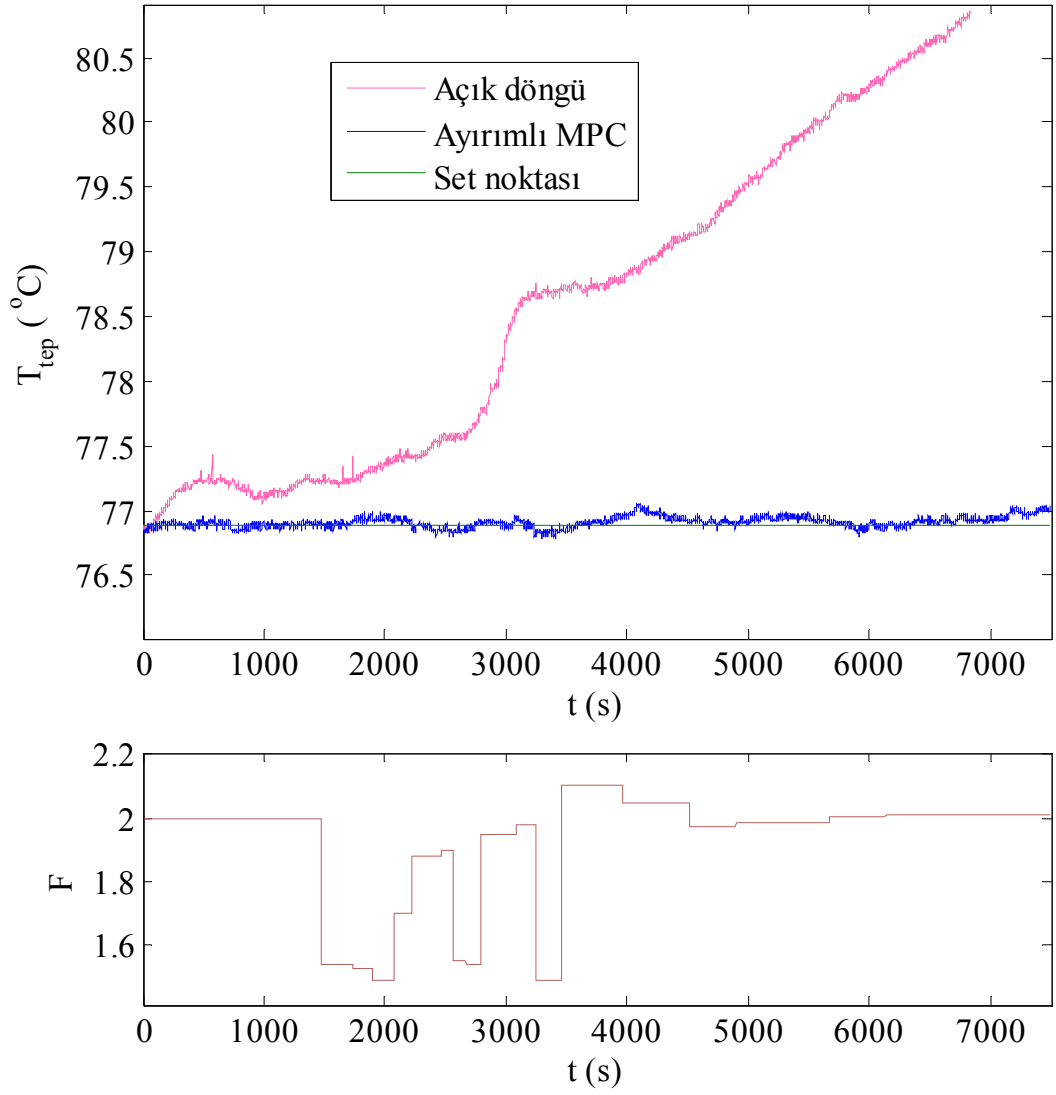
Bu çalışmanın kısmında yük etkisi kontrol çalışmalarında elde edilen veriler tartışılmaktadır.

4.6.2.2.1 Deneysel yük etkisi ayrılmı MPC bulguları

Oluşturulan ayrılmı model öngörmeli kontrol algoritması deney sistemine uygulanmıştır. Burada yük değişkeni olarak kazana verilen ısı miktarı seçilmiştir. Isı miktarı 0.420 kJ/s’den 0.490 kJ/s’ye pozitif kademe etkisi verilerek kontrol sonuçları Şekil 4.34 ve 4.35’te gösterilmiştir. Burada, sistemin yatışkın halde kalması beklenmektedir. Ancak elde edilen sonuçlara göre, hem üst ürün sıcaklığı (Şekil 4.34) hem de tepkime bölgesi sıcaklığı (Şekil 4.35) için sırasıyla 0.06 ve 0.16 °C büyüklüğünde sapmalar bulunmuştur.



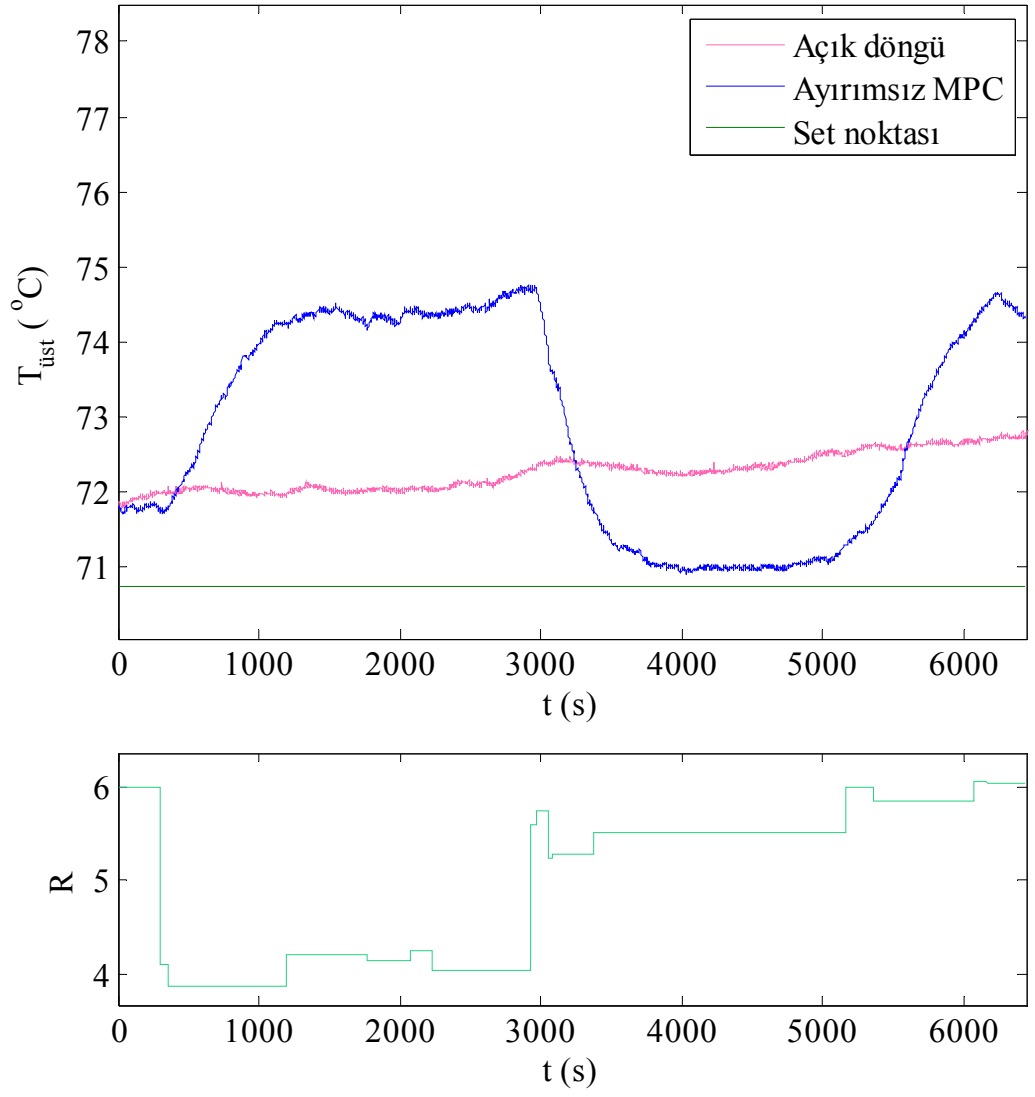
Şekil 4.34 Deneysel yük etkisi çalışmasında ayrılmalı MPC kullanılarak üst ürün sıcaklığının kapalı döngü yanıtımı ($Q = 0.420$ kJ/s'den 0.490 kJ/s'ye)



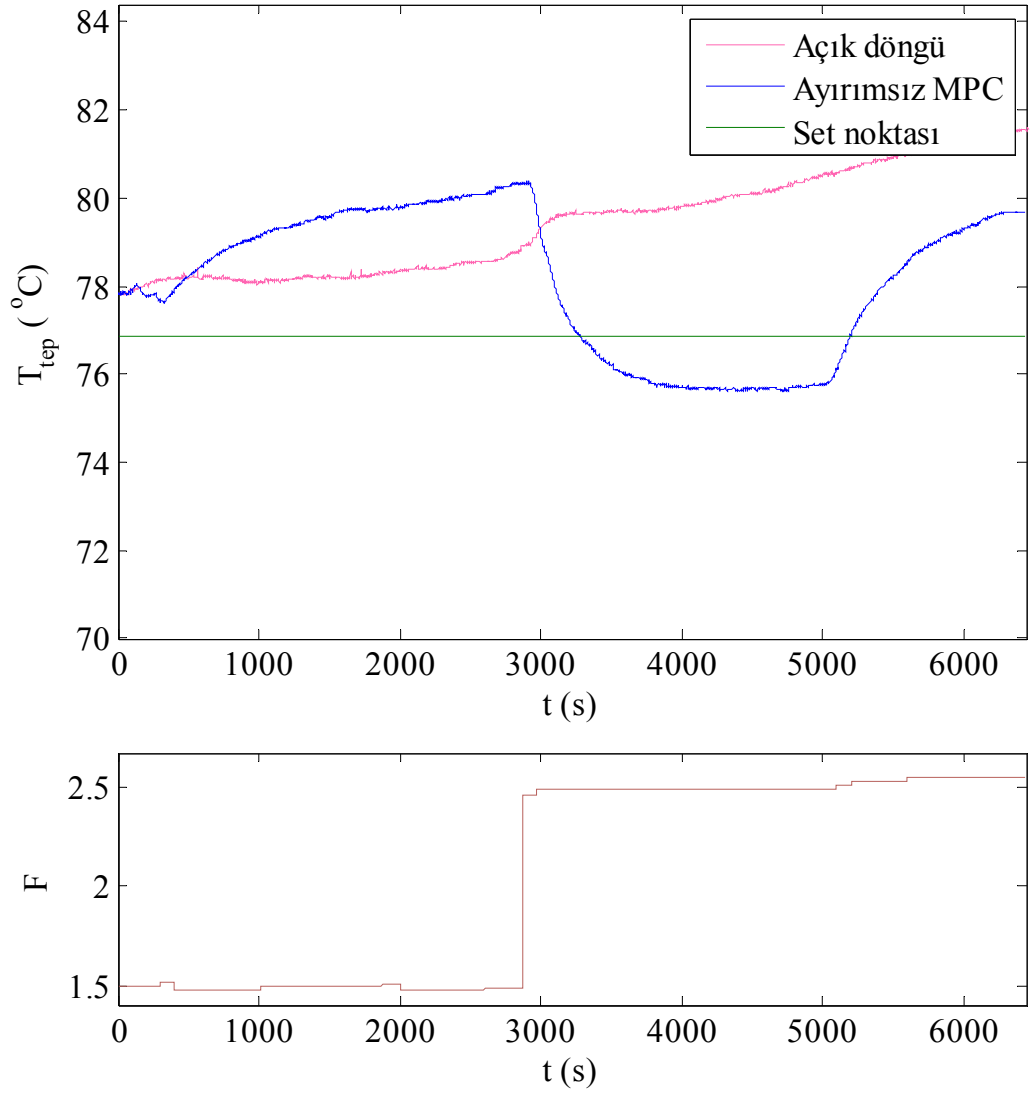
Şekil 4.35 Deneysel yük etkisi çalışmasında ayırılmış MPC kullanılarak tepkime bölgesi sıcaklığının kapalı döngü yanıtı ($Q = 0.420$ kJ/s'den 0.490 kJ/s'ye)

4.6.2.2.2 Deneysel yük etkisi ayırılmış MPC bulguları

Deneysel ayırılmış model öngörmeli kontrol algoritması, yük etkisi kontrol çalışması için, deney sistemin üzerinde benzetildiği zaman elde edilen sonuçlar (Şekil 4.36 ve 4.37)'a bakıldığı zaman, sistemin kararsız olduğu ortaya çıkmıştır. Bu demek ki, bu kontrol algoritması böyle bir karmaşık çok – girdi çok – çıktı sisteme uygun olmadığı anlaşılmıştır.



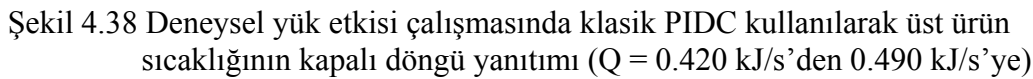
Şekil 4.36 Deneysel yük etkisi çalışmasında ayırimsız MPC kullanılarak üst ürün sıcaklığının kapalı döngü yanıtı ($Q = 0.420$ kJ/s'den 0.490 kJ/s'ye)

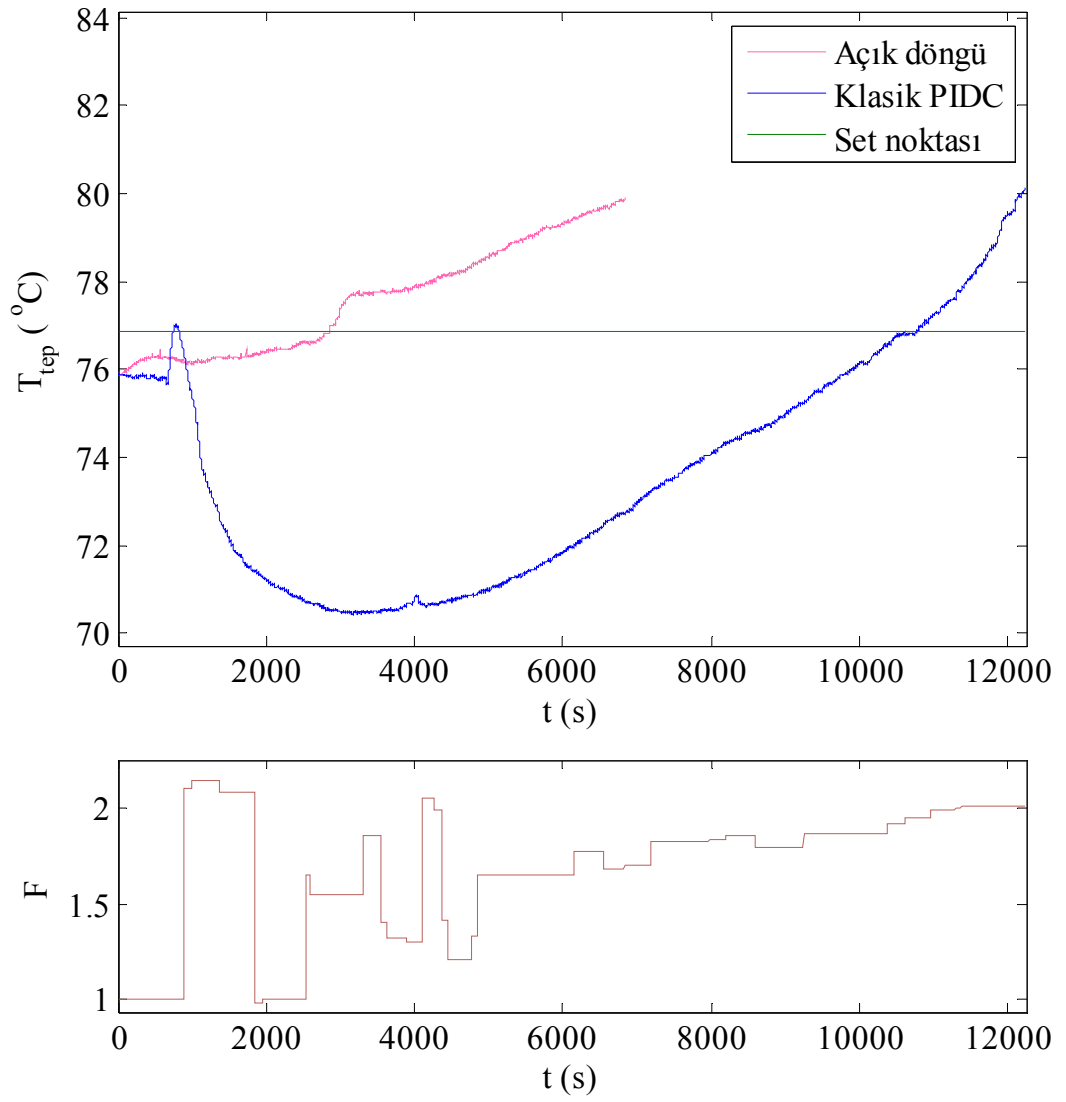


Şekil 4.37 Deneysel yük etkisi çalışmasında ayırimsız MPC kullanılarak tepkime bölgesi sıcaklığının kapalı döngü yanıtı ($Q = 0.420$ kJ/s'den 0.490 kJ/s'ye)

4.6.2.2.3 Deneysel yük etkisi klasik PIDC bulguları

Oluşturulan klasik oransal-integral-türevsel kontrol algoritması deney sisteminin üzerine kullanıldığında ortaya çıkan sonuçlara (Şekil 4.38 ve Şekil 4.39'a) göre o da bu sisteme uygun olduğu görünmemiştir. Çünkü sistemin yanıtları kararsız bir yapı göstermiştir.





Şekil 4.39 Deneysel yük etkisi çalışmasında klasik PIDC kullanılarak tepkime bölgesi sıcaklığının kapalı döngü yanıtı ($Q = 0.420$ kJ/s'den 0.490 kJ/s'ye)

4.6.2.2.4 Deneysel yük etkisi kontrol performansları

Bu deneysel yük etkisi kontrol çalışmasında da kullanılan kontrol performansları IAE ve ISE'dir. Hesaplanan değerler, her kontrol algoritması ve hem üst ürün sıcaklığı hem de tepkime bölgesi sıcaklığı için, çizelge 4.9'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.9 Deneysel yük etkisi kontrol çalışmaları için performans değerleri

Denetim yöntemi	IAE		ISE	
	T _{üst}	T _{tep}	T _{üst}	T _{tep}
DMPC	6.09	5.36	0.39	0.35
MPC	228.60	198.34	705.60	458.27
PIDC	249.52	717.90	598.29	3493.06

Çizelge 4.9’de görüldüğü üzere, deneysel yük etkisi kontrol çalışmaları için ayrılmı MPC’nin üstünlüğü bir daha görünebilir çünkü bu kez de çizelgedeki bulunan IAE ve ISE değerlerinden en küçük olan ayrılmı MPC’ye aittir.

4.6.3 Deneysel kontrol çalışmaları analiz bulguları

Bu çalışmanın kontrolünden yatışkın halinden daha yüksek saf bir etil asetat beklenmektedir. Bu nedenle, deneysel çalışma sırasında numuneler alınmıştır ve bu numuneler Gaz Kromatografi Kütle Spektrometresi cihazında analiz edilmiştir. Analiz çıktıları EK 8’de gösterilmektedir ve o çıktılarından hesaplanan bileşenlerin kesirleri şöyledir.

4.6.3.1 Deneysel set noktası etkisi kontrol çalışmaları analiz bulguları

Deneysel set noktası etkisi kontrol çalışmalarından elde edilen bileşenlerin mol kesirleri, kütle kesirleri ve hacim kesirleri çizelge 4.10 - 4.12’de bulunmaktadır.

Çizelge 4.10 Deneysel set noktası etkisi çalışmaları için bileşenlerin mol kesirleri

Yöntem	Sıcaklık (°C)	Asetik asit	Etanol	Etil asetat
Yatışkın hal	74.76	0.00	0.63	0.37
DMPC set noktası etkisi	70.82	0.01	0.31	0.68
MPC set noktası etkisi	71.82	0.00	0.39	0.61
PIDC set noktası etkisi	74.96	0.07	0.53	0.40

Çizelge 4.11 Deneysel set noktası etkisi çalışmaları için bileşenlerin kütle kesirleri

Yöntem	Sıcaklık (°C)	Asetik asit	Etanol	Etil asetat
Yatışkın hal	74.76	0.00	0.47	0.53
DMPC set noktası etkisi	70.82	0.00	0.19	0.81
MPC set noktası etkisi	71.82	0.00	0.25	0.75
PIDC set noktası etkisi	74.96	0.07	0.39	0.55

Çizelge 4.12 Deneysel set noktası etkisi çalışmaları için bileşenlerin hacim kesirleri

Yöntem	Sıcaklık (°C)	Asetik asit	Etanol	Etil asetat
Yatışkın hal	74.76	0.00	0.50	0.50
DMPC set noktası etkisi	70.82	0.00	0.21	0.79
MPC set noktası etkisi	71.82	0.00	0.27	0.72
PIDC set noktası etkisi	74.96	0.05	0.42	0.53

Çizelge 4.10'dan 4.12'ye kadar, set noktası etkisi çalışmalarından alınan numunelerin analizlerinin sonuçlarında görüldüğü üzere, mol kesri, kütle kesri ve hacim kesri olarak en yüksek saf etil asetat DMPC'de elde edilmiştir.

4.6.3.2 Deneysel yük etkisi kontrol çalışmaları analiz bulguları

Deneysel yük etkisi kontrol çalışmalarından elde edilen bileşenlerin mol kesirleri, kütle kesirleri ve hacim kesirleri çizelge 4.13 - 4.15'te bulunmaktadır.

Çizelge 4.13 Deneysel yük etkisi çalışmaları için bileşenlerin mol kesirleri

Yöntem	Sıcaklık (°C)	Asetik asit	Etanol	Etil asetat
DMPC yük etkisi	70.76	0.02	0.30	0.68
MPC yük etkisi	74.34	0.00	0.48	0.52
PIDC yük etkisi	75.2	0.00	0.58	0.42

Çizelge 4.14 Deneysel yük etkisi çalışmaları için bileşenlerin kütle kesirleri

Yöntem	Sıcaklık (°C)	Asetik asit	Etanol	Etil asetat
DMPC yük etkisi	70.76	0.02	0.18	0.80
MPC yük etkisi	74.34	0.00	0.33	0.67
PIDC yük etkisi	75.2	0.00	0.42	0.58

Çizelge 4.15 Deneysel yük etkisi çalışmaları için bileşenlerin hacim kesirleri

Yöntem	Sıcaklık (°C)	Asetik asit	Etanol	Etil asetat
DMPC yük etkisi	70.76	0.01	0.20	0.78
MPC yük etkisi	74.34	0.00	0.36	0.64
PIDC yük etkisi	75.2	0.00	0.45	0.55

Yukarıdaki verilen çizelge 4.13'ten 4.15'e göre, aynı şekilde, mol kesri, kütle kesri ve hacim kesri olarak en yüksek saf etil asetat DMPC'de elde edilmiştir.

Bu sonuçlara bakıldığında hem set noktası etkisi hem de yük etkisi kontrol çalışmaları için de en yüksek etil asetat derişimine DMPC algoritması aracılığıyla elde edilmiştir.

Son olarak, çalışma esnasında, sistem yatışkın halde iken alt ürün numunesinin analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda, asetik asit, etanol ve etil asetat mol kesirleri sırasıyla 0.61, 0.11 ve 0.28, ağırlıkça asetik asit, etanol ve etil asetat mol kesirleri sırasıyla 0.55, 0.08 ve 0.37, hacimce ise asetik asit, etanol ve etil asetat mol kesirleri sırasıyla 0.51, 0.10 ve 0.39 olarak bulunmuştur. Sonuçlardan görüldüğü gibi, asetik asit, en ağır bileşen olduğundan dolayı, diğer bileşenlere göre, alt üründe daha fazladır. Bu, tepkimenin dönüşümü yüzde yüz olmadığını göstermektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, etil asetat üreten bir tepkimeli damıtma kolonu için bir ayırımlı model öngörmeli kontrolü (DMPC) algoritması oluşturulmuştur. Ayrıca, karşılaştırılmak amacıyla, ayırımsız model öngörmeli kontrolü (MPC) ve klasik oransal-integral-türevsel kontrolü (PIDC) algoritmaları da oluşturulmuştur. Bu çalışmada, hem teorik hem de deneysel sonuçlara yer verilmiştir.

Sistemin optimum işletim parametrelerini belirlemek için HYSYS ortamında benzetim çalışmaları yapılmıştır. Benzetim çalışmalarından optimum işletim parametreleri geri akma oranı 2.6103, besleme akış hızı oranı 2.0011 ve kazan ısı miktarı 0.1070 kJ/s bulunmuştur. Bu optimum değerler kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel verilerle HYSYS sonuçları karşılaştırılarak bu optimum işletim parametrelerinin deneysel sisteme uygun olduğu gösterilmiştir.

Optimum işletim parametreleri deneysel sisteme uygulanarak çıkış değişkenlerinin davranışları incelenmiştir. Bunun için geri akam oranı, besleme akış hızı oranı ve kazann ısısına etkiler verilmiştir. Elde edilen dinamik sonuçlar grafiğe geçirilerek sıcaklık değişimleri gösterilmiştir.

Sistemin kütle ve enerji denklıkları kurularak matematiksel model eşitlikleri türetilmiştir. Bu eşitlikler çok karmaşık bir yapıda oluşturulmuştur. Model eşitlikleri MATLAB ortamında sayısal olarak çözülmüştür. Model sonuçları deneysel verilerle karşılaştırılarak model geçerliliği test edilmiştir. Yatışkın hal sonuçları, deneysel ve teorik üst ürün sıcaklıkları sırasıyla 76.52 ve 77.33 °C olarak elde edilmiştir. Sistemin dinamik davranışları incelerken, modellerin çözülmesi çok zaman almıştır. Böylece bu modellerin kontrol algoritmasında kullanılmasında sakıncalar olabileceği düşünüldüğünden onun yerine yapay sinir ağı modelleri kullanılmıştır.

Proses tanımlama yöntemiyle dinamik deneysel veriler kullanılarak “System Identification Toolbox” yardımıyla prosesin iletim fonksiyonları bulunmuştur. Prosesin üç girdi ve üç çıktı değişkeni için birinci mertebeden ölü zamanlı dokuz iletim fonksiyonu bulunmuştur. Bu iletim fonksiyonları proses modeli ve ayırımcıları (“decouplers”) hesaplamak için kullanılmıştır.

Ayrıca, deneysel sistemden elde edilen veriler kullanılarak “Neural Network Toolbox” yardımıyla oluşturulan prosesin yapay sinir ağı modelleri de bulunmuştur. Bu modeller NARX yapısında olup üst ürün sıcaklığı, tepkime bölgesi sıcaklığı ve alt bölge sıcaklığı için çıkarılmıştır. Bu modeller girdi değişkenleri olan geri akma oranı, besleme akış hızı oranı ve kazan ısısına bağlı olarak doğrusal olmayan bir yapıda çıkarılmıştır. Elde edilen model sonuçları dinamik deneysel verilerle karşılaştırılarak modellerin geçerliliği gösterilmiştir. Böylece, bu NARX modelleri MPC kontrol algoritmasında hem deneysel hem de kuramsal kontrol çalışmalarında başarılı bir şekilde kullanılmıştır.

Teorik kontrol çalışmaları, ayırmalı MPC, ayırsız MPC ve klasik PID set noktası etkileri ve yük etkileri için benzetilmiştir. Set noktası etkisinde kontrol sonuçlarına göre, en iyi kontrol algoritmasının ayırmalı MPC olduğu gösterilmiştir. Üst ürün için, hatanın mutlak değerlerin toplamı (IAE) 82.12 ve hatanın karelerinin toplamı (ISE) 37.83; tepkime bölgesi için de IAE ve ISE sırasıyla 185.77 ve 47.75 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre, en küçük değerler ayırmalı MPC’de elde edilmiştir. Yük etkisinden elde edilen kontrol sonuçlarına göre, üst ürün için, hatanın mutlak değerlerin toplamı (IAE) 11687.16 ve hatanın karelerinin toplamı (ISE) 47523.99; tepkime bölgesi için ise IAE 6434.44 ve ISE 34102.82 olarak bulunmuştur. Burada da en küçük değerler ayırmalı MPC’de elde edilmiştir. Böylece, bu çalışmada yapılan teorik kontrol benzetimlerinden çıkan sonuçlar hem set noktası etkisi hem de yük etkisi için en iyi kontrol edici ayırmalı MPC olduğunu söyleyebiliriz. Ayrıca, kontrol performanslarının sonuçları grafiksel olarak da elde edilmiştir. Grafiklerden de ayırmalı MPC’nin en iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Deneysel kontrol çalışmaları da ayırmalı MPC, ayırsız MPC ve klasik PID set noktası etkileri ve yük etkileri için benzetilmiştir. Set noktası etkisinde kontrol sonuçlarına göre, en iyi kontrol algoritmasının ayırmalı MPC olduğu gösterilmiştir. Üst ürün için, hatanın mutlak değerlerin toplamı (IAE) 64.14 ve hatanın karelerinin toplamı (ISE) 192.26; tepkime bölgesi için ise IAE 21.90 ve ISE 7.70 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre en küçük değerler ayırmalı MPC’de elde edilmiştir. Yük etkisinden elde edilen kontrol sonuçlarına göre, üst ürün için, hatanın mutlak değerlerin toplamı (IAE) 6.09 ve hatanın karelerinin toplamı (ISE) 0.39; tepkime bölgesi için de IAE 5.36 ve ISE 0.35 olarak

bulunmuştur. Bu sonuçlara göre, en küçük değerler ayırmalı MPC’de elde edilmiştir. Böylece, bu çalışmada yapılan deneysel kontrol sonuçlarına göre hem set noktası etkisi hem de yük etkisi için en iyi kontrol edici ayırmalı MPC olduğunu söyleyebiliriz. Ayrıca, burada da, kontrol performanslarının sonuçları grafiksel olarak da elde edilmiştir. Grafiklerden de ayırmalı MPC’nin en iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Bu çalışmadaki set noktası ve yük etkileri için yapılan deney numunelerinin Gaz Kromatografi – Kütle Spektrometresi’nde analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, kullanılan algoritmalar olan ayırmalı MPC, ayırsız MPC ve klasik PIDC’nin sonuçlarına göre, en yüksek etil asetat mol, kütle ve hacim kesirlerinin ayırmalı MPC için elde edilmiştir. Bu değerler etil asetat derişimi açısından, set noktası kontrol çalışması için, ayırmalı MPC için molce 0.68 (ağırlıkça 0.81 ve hacimce 0.79), ayırsız MPC için 0.61 (ağırlıkça 0.75 ve hacimce 0.72) ve klasik PIDC için ise 0.40 (ağırlıkça 0.55 ve hacimce 0.53) bulunmuştur.

Bu çalışmanın sonuçları literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılınca, bu çalışmanın sonuçları, literatürdeki sonuçlardan daha iyi olduğunu söyleyebiliriz. Calvar vd. (2007)’de yapmış oldukları çalışmada üst üründe elde edilmiş en yüksek etil asetat molce 0.552 (ağırlıkça %70)’dir, Kawathekar vd. (2007)’de tepkimeli kademeli damıtma kolonu kullanılarak molce 0.55 (ağırlıkça %70) saflıkta etil asetat elde edilmiştir, Kumar ve Kaistha (2008)’in yapmış oldukları çalışmada, tepkimeli kademeli damıtma kolonu yerine tepkimeli dolgulu damıtma kolonu kullanıldığında ağırlıkça %70 saflığın üzerine çıkılabileceği belirtilmiştir. Böylece, bu çalışmada, tepkimeli dolgulu damıtma kolonu kullanılıp ayırmalı model öngörmeli kontrolü uygulandığında, molce 0.68 ve ağırlıkça 0.80 (%80) elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler kontrol yönünden de tatmin edicidir.

KAYNAKLAR

- Al-Arfaj, M. and Luyben, W.L. 2000. Comparison of alternative control structures for an ideal two-product reactive distillation column. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, Vol. 39, pp. 3298-3307.
- Al-Arfaj, M. and Luyben, W.L. 2002a. Control study of ethyl tert-butyl ether reactive distillation. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, Vol. 41, pp. 3784-3796.
- Al-Arfaj, M. and Luyben, W.L. 2002b. Control of ethylene glycol reactive distillation column. *AIChE Journal*, Vol. 48, pp. 905-908.
- Al-Arfaj, M. and Luyben, W.L. 2002c. Design and control of an olefin metathesis reactive distillation column. *Chemical Engineering Science*, Vol. 57, pp. 715-733.
- Al-Arfaj, M. and Luyben, W.L. 2002d. Comparative control study of ideal and methyl acetate reactive distillation. *Chemical Engineering Science*, Vol. 57, pp. 5039-5050.
- Allgöwer, F., Badgwell, T.A., Qin, J.S., Rawlings, J.B. and Wright, S.J. 1999. Nonlinear predictive control and moving horizon estimation – An introductory overview. In: *Advances in Control, Highlights of ECC'99* (Ed. Frank, P. M.). pp. 391–449. Springer.
- Aspen. 2003. HYSYS v3.2 Build 5029. Aspen Technology Inc., U.S.A.
- Badgwell, T.A. and Qin, S.J. 2001. Review of non-linear model predictive control applications. In *Nonlinear Predictive Control: Theory and Practice* (Eds. Kouvaritakis, B. and Cannon, M.) (pp. 3–32), IEE Control Engineering Series, 61.
- Bahar, A. and Özgen, C. 2010. State estimation and inferential control for a reactive batch distillation column. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 23, pp. 262-270.
- Balasubramhanya, L.S. and Doyle III F.J. 2000. Nonlinear model-based control of a batch reactive distillation column. *Journal of Process Control*, Vol. 10, pp. 209-218.
- Bisowarno, B.H., Tian, Y. and Tadé, M.O. 2003. Model gain scheduling control of an ethyl tert-butyl ether reactive distillation column. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, Vol. 42, pp. 3584-3591.

- Calvar, N., Gonzalez, B. and Dominguez, A. 2007. Esterification of acetic acid with ethanol: Reaction kinetics and operation in a packed bed reactive distillation column. *Chemical Engineering and Processing*, Vol. 46, pp. 1317-1323.
- Cinsdikici, M. 1997. Neural network solutions for atm routing & multicasting problems. MSc thesis, Ege Univiversitesi, İzmir.
- Clarke, D.W., Mohtadi, C. and Tufts, P.S. 1987. Generalized predictive control – Part I. The basic algorithm. *Automatica*, Vol. 23, pp. 137-148.
- Cutler, C.R. and Ramaker, B.L. 1980. Dynamix matrix control – A computer control algorithm. *Proc. Joint Automatic Control Conference*, Paper WP5-B, San Francisco.
- Engell, S. and Fernholz, G. 2003. Control of a reactive separation process. *Chemical Engineering and Processing*, Vol. 42, pp. 201-210.
- Fausett, L.V. 2003. *Numerical methods: Algorithms and applications*. Pearson Education, 649 p., New Jersey.
- Franks, R.G.E. 1972. *Modelling and simulation in chemical engineering*. Wiley-Interscience, 411 p., New York.
- Grüner, S., Mohl, K.D., Kienle, A., Gilles, E. D., Fernholz, G. and Friedrich, M. 2003. Nonlinear control of a reactive distillation column. *Control Engineering Practice*, Vol. 11, pp. 915-925.
- Huang, S.G., Kuo, C.L. and Hung, S.B., Chen, Y.W. and Yu, C.C. 2004. Temperature control of heterogeneous reactive distillation. *AIChE Journal*, Vol. 50, pp. 2203-2216.
- Jana, A.K. and Adari, P.V.R.K. 2009. Nonlinear state estimation and control of a batch reactive distillation. *Chemical Engineering Journal*, Vol. 150, pp. 516-526.
- Karacan, S., Cabbar, Y., Alpbaz, M. and Hapoğlu, H. 1998. The steady-state and dynamic analysis of packed distillation column based on partial differential approach, *Chemical Engineering and Processing*, Vol. 37, pp. 379–388.
- Kathel, P. and Jana, A.K. 2010. Dynamic simulation and nonlinear control of a rigorous batch reactive distillation. *ISA Transactions*, Vol. 49, pp. 130-137.
- Kawathekar, R. and Riggs, J.B. 2007. Nonlinear model predictive control of a reactive distillation column. *Control Engineering Practice*, Vol. 15, pp. 231-239.
- Khaledi, R. and Young, B.R. 2005. Modeling and model predictive control of composition and conversion in an ETBE reactive distillation column. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, Vol. 44, pp. 3134-3145.

- Klöker, M., Kenig, Y.E., Hoffmann, A., Kreis, P. and Gorak, A. 2005. Rate-based modelling and simulation of reactive separations in gas/vapour-liquid systems. *Chemical Engineering and Processing*, Vol. 44, pp. 617-629.
- Kumar, P.M.V and Kaistha, N. 2009. evaluation of ratio control schemes in a two-temperature control structure for a methyl acetate reactive distillation column. *Chemical Engineering Research and Design*, Vol. 87, pp. 216-225.
- Kumar, P.M.V. and Kaistha, N. 2008. Decentralized control of a kinetically controlled ideal reactive distillation column. *Chemical Engineering Science*, Vol. 63, pp. 228-243.
- Lai, I.-K., Hung, S.-B., Hung, W.-J., Yu, C.-C., Lee, M.-J., Huang, H.-P.. 2007. Design and control of reactive distillation for ethyl and isopropyl acetates production with azeotropic feeds. *Chemical Engineering Science*, Vol. 62, pp. 878-898.
- Lai, I.-K., Liu, Y.C., Yu, C.C., Lee, M.J. and Huang, H.P. 2008. Production of high-purity ethyl acetate using reactive distillation: Experimental and start-up procedure. *Chemical Engineering and Processing*, Vol. 47, pp. 1831–1843.
- Liang, W., Wang Z., Jin, Y., Yu, Z. and Yang, S. 1996. Performance of a three-phase fluidized bed as a reactive distillation device. *Chemical Engineering & Technology*, Vol. 19, pp. 456-461.
- Liley, P.E., Thomson, G.H., Friend, D.G., Daubert, T. E. and Buck, E. 1999. Physical and chemical data, in *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 7th Edition. McGraw-Hill, 374 p., New York.
- Marlin, T.E. 2000. *Process control: Designing processes and control systems for dynamic performance*, 2nd Edition. McGraw-Hill Book Company, p. 683, Singapore.
- Mathworks, 2011. *MATLAB, The Language of Technical Computing*. The MathWorks Inc., Natick, Massachusetts, U.S.A.
- Monroy-Loperena, R. and Alvarez-Ramirez, J. 2000a. Output-feedback control of reactive batch distillation columns. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, Vol. 39, pp. 378-386.
- Monroy-Loperena, R., Perez-Cisneros, E. and Alvarez-Ramirez, J. 2000b. A robust PI control configuration for a high-purity ethylene glycol reactive distillation column. *Chemical Engineering Science*, Vol. 55, pp. 4925-4937.
- Ogunnaike, B.A. and Ray W.H. 1994. *Process dynamics, modeling, and control*, Oxford University Press, 1269 p., New York.

- Poss, A.J. 2011. Esterification. Web Sitesi:
<http://science.jrank.org/pages/2573/Esterification.html>, Erişim Tarihi:
 11/06/2011.
- Prakash, K.J.J., Patle, D.S. and Jana, A.K. 2011. Neuro-estimator based gmc control of a batch reactive distillation. ISA Transactions, Vol. 50, pp. 357-363.
- Qin, S.J. and Badgwell, T.A. 2003. A survey of industrial model predictive control technology. Control Engineering Practice, Vol. 11, pp. 733-764.
- Richalet, J., Rault, A., Testud, J.L. and Papon, J. 1978. Model predictive heuristic control: Applications to industrial processes. Automatica, Vol. 14, pp. 413–428.
- Roat, S.D., Downs, J.J., Vogel, E.F. and Doss, E.J. 1986. integration of rigorous dynamic modeling and control system synthesis for distillation columns, In: Chemical Process Control CPC III, Morari, M. and McAvoy, T.J., McAvoy, T.J. (eds). (Elsevier, New York).
- Saito, S. Michishita, T. and Maeda, S. 1971. Separation of meta- and paraxylene mixture by distillation accompanied by chemical reactions. J. Chem. Eng. Japan, Vol. 4, pp. 37-43.
- Sandler, S.I. 1999. Chemical and Engineering Thermodynamics, 3rd Edition. John Wiley and Sons, Inc., 772 p., New York.
- Seborg, D.E., Edgar, T.F. and Mellichamp, D.A. 2004. Process dynamics and control, 2nd Edition. Wiley, 713 p., New Jersey.
- Sinnott, R.K. 2005. Coulson & richardson's chemical engineering, 4th Edition, Volume 6. Elsevier Butterworth-Heinemann, 1045 p., Amsterdam.
- Sneesby, M.G., Tade, M.O. and Smith, T.N. 1999. Two-point control of a reactive distillation column for composition and conversion. Journal of Process Control, Vol. 9, pp. 19-31.
- Sneesby, M.G., Tade, M.O. and Smith, T.N. 2000. A multi-objective control scheme for an ETBE reactive distillation column. IChemE, Vol. 78, pp. 283-292.
- Sneesby, M.G., Tade, M.O., Datta, R. and Smith, T.N. 1997. ETBE synthesis via reactive distillation, 2. Dynamic simulation and control aspects. Industrial and Engineering Chemistry Research, Vol. 36, pp. 1870-1881.
- Sørensen, E., Macchietto, S., Stuart, G. and Skogestad, S. 1995. Optimal control and on-line operation of reactive batch distillation. Computers & Chemical Engineering, Vol. 20, pp. 1491-1498.
- Stephanopoulos, G. 1984. Chemical process control. Prentice-Hall, 696 p., New Jersey.

- Tian, Y., Zhao, F., Bisowarno, B.H. and Tadé, M.O. 2003. Pattern-based predictive control for ETBE reactive distillation. *Journal of Process Control*, Vol. 13, 57-67.
- Venkateswarlu, C. and Reddy, A.D. 2008. Nonlinear model predictive control of reactive distillation based on stochastic optimization. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, Vol. 47, pp. 6949-6960.
- Vora, N. and Daoutidis, P. 2001. Dynamics and control of an ethyl acetate reactive distillation column. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, Vol. 40, pp. 833-849.
- Völker, M., Sonntag, C. and Engell, S. 2007. Control of integrated processes: A case study on reactive distillation in a medium-scale pilot plant. *Control Engineering Practice*, Vol. 15, pp. 863-881.
- Wang, S.J. and Wong, D.S.H.. 2006. Control of reactive distillation production of high-purity isopropanol. *Journal of Process Control*, Vol. 16, pp. 385-394.

EK 1 Bileşenlerin özellikleri

Çizelge 1 Bileşenlerin özellikleri (Aspen 2003)

Özellik	Asetik asit	Etanol	Etil asetat	Su
Moleküler Formülü	CH ₃ COOH	C ₂ H ₅ OH	CH ₃ COOC ₂ H ₅	H ₂ O
Moleküler ağırlığı (kg/kmol)	60.05	46.07	88.11	18.02
Kaynama noktası (°C)	117.95	78.25	77.15	100.00
İdeal sıvı yoğunluğu (kg/m ³)	1051.50	795.98	904.86	997.99
Kritik sıcaklık (°C)	319.55	240.75	250.05	374.15
Kritik basınç (atm)	56.95	60.67	37.70	218.31
Kritik hacim (m ³ /kgmol)	0.17100	0.16708	0.28600	0.05710
Asentrisiti	0.44699	0.64437	0.36199	0.34400

Çizelge 2 Spesifik sıvı ısı kapasitesi katsayıları (Liley vd. 1999)

	Asetik asit	Etanol	Etil asetat	Su
al	139640	102640	226230	276370
bl	-320.8	-139.63	-624.8	-2090.1
cl	8.9850E-01	-3.0341E-02	1.472	8.125
dl	0	2.0386E-03	0	-1.4116E-02
el	0	0	0	9.3701E-06

$$C_{pL} = al + bl \times T + cl \times T^2 + dl \times T^3 + el \times T^4 \quad (1)$$

Çizelge 3 Spesifik gaz ısı kapasitesi katsayıları (Liley vd. 1999)

	Asetik asit	Etanol	Etil asetat	Su
ag	40200	49200	99810	33360
bg	136750	145770	209310	26790
cg	1262	1662.8	2022.6	2610.5
dg	70030	93900	180300	8900
eg	569.7	744.7	928.05	1169

$$C_{pg} = ag + bg \left[\frac{cg}{T} / \sinh \left(\frac{cg}{T} \right) \right]^2 + dg \left[\frac{eg}{T} / \cosh \left(\frac{eg}{T} \right) \right]^2 \quad (2)$$

Çizelge 4 Antoine sabitleri (Sinnott 2005)

	Asetik asit	Etanol	Etil asetat	Su
A	16.808	18.9119	16.1516	18.3036
B	3405.57	3803.98	2790.5	3816.44
C	-56.34	-41.68	-57.15	-46.13

$$\ln(p) = A - \frac{B}{T + C} \quad (3)$$

Çizelge 5 Latent buharlaşma ısı (Liley vd. 1999)

	Asetik asit	Etanol	Etil asetat	Su
alb	20265000	56900000	49330000	52053000
blb	0.11911	0.3359	0.3847	0.3199
clb	-1.3487	0	0	-0.212
dlb	1.4227	0	0	0.25795

$$\lambda = alb \times (1 - T_r)^{blb + clb \times T_r + dlb \times T_r \times T_r} \quad (4)$$

$$T_r = \frac{T}{T_c} \quad (5)$$

Çizelge 6 NRTL model parametreleri (Aspen 2003)

A _{nrtl}				
	Asetik asit	Etanol	Etil asetat	Su
Asetik asit	0	0	0	0
Etanol	0	0	0	0
Etil asetat	0	0	0	0
Su	0	0	0	0
B _{nrtl}				
	Asetik asit	Etanol	Etil asetat	Su
Asetik asit	0	-147.8242035	457.7296143	424.1243
Etanol	105.3394012	0	72.89122009	670.6155
Etil asetat	-223.9071045	230.3647003	0	1165.934
Su	-110.5972977	-55.18392181	470.9758911	0
C _{nrtl}				
	Asetik asit	Etanol	Etil asetat	Su
Asetik asit	0	0	0	0
Etanol	0	0	0	0
Etil asetat	0	0	0	0
Su	0	0	0	0
F _{nrtl}				
	Asetik asit	Etanol	Etil asetat	Su
Asetik asit	0	0	0	0
Etanol	0	0	0	0
Etil asetat	0	0	0	0
Su	0	0	0	0
G _{nrtl}				
	Asetik asit	Etanol	Etil asetat	Su
Asetik asit	0	0	0	0

Etanol	0	0	0	0
Etil asetat	0	0	0	0
Su	0	0	0	0
α_{1nrtl}				
	Asetik asit	Etanol	Etil asetat	Su
Asetik asit	0	0.299198002	0.313600004	0.299699
Etanol	0.299198002	0	0.298400015	0.303099
Etil asetat	0.313600004	0.298400015	0	0.4104
Su	0.299699008	0.303099006	0.410400003	0
α_{2nrtl}				
	Asetik asit	Etanol	Etil asetat	Su
Asetik asit	0	0	0	0
Etanol	0	0	0	0
Etil asetat	0	0	0	0
Su	0	0	0	0

NRTL eşitlik aşağıda verilmektedir (Sandler 1999):

$$\ln \gamma_i = \frac{\sum_{j=1}^m \tau_{ji} G_{ji} x_j}{\sum_{j=1}^m G_{ji} x_j} + \sum_{j=1}^m \frac{x_j G_{ij}}{\sum_{k=1}^m x_k G_{kj}} \left(\tau_{ij} - \frac{\sum_{k=1}^m x_k \tau_{kj} G_{kj}}{\sum_{k=1}^m x_k G_{kj}} \right) \quad (6)$$

$$\tau_{ij} = A_{ij} + \frac{B_{ij}}{T} + \frac{C_{ij}}{T^2} + F_{ij} T + G_{ij} \ln T \quad (7)$$

$$\alpha_{ij} = \alpha_{1ij} + \alpha_{2ij} T \quad (8)$$

$$\ln G_{ji} = -\alpha_{ij} \tau_{ij} \quad (9)$$

$$\alpha_{ij} = \alpha_{ji} \quad (10)$$

$$\tau_{ii} = 0 \quad (11)$$

EK 2 Kuramsal Dinamik Model İçin Hesaplamalar

Akış Hızları

$$L_d = \frac{L_{dv} \rho_{av}}{m w_{av}} \quad (12)$$

Ya da enerji denkliğinden,

$$\frac{d(M_j h_j)}{dt} = V_{j+1} H_{j+1} - L_d h_d - L_R h_R - Q_{cond} \quad (13)$$

$$Q_{cond} = V_{j+1} H_{j+1} - L_d h_d - L_R h_R - \frac{d(M_j h_j)}{dt} \quad (14)$$

$$Q_{cond} = V_{j+1} H_{j+1} - (L_d + L_R) h_j - \frac{d(M_j h_j)}{dt} \quad (15)$$

$$0 = V_{j+1} - L_d - L_R \quad (16)$$

$$-V_{j+1} = -L_d - L_R \quad (17)$$

$$V_{j+1} = L_d + L_R \quad (18)$$

$$Q_{cond} = V_{j+1} H_{j+1} - (V_{j+1}) h_j - \frac{d(M_j h_j)}{dt} \quad (19)$$

$$Q_{cond} = V_{j+1} H_{j+1} - V_{j+1} h_j - \frac{d(M_j h_j)}{dt} \quad (20)$$

$$Q_{cond} = V_{j+1} (H_{j+1} - h_j) - \frac{d(M_j h_j)}{dt} \quad (21)$$

Yoğunlaştırıcı için kütle korunum denkliği,

$$\frac{dM_j}{dt} = V_{j+1} - L_d - L_R \quad (22)$$

$$\frac{dM_j}{dt} = V_{j+1} - L_d - L_R \quad (23)$$

$$-V_{j+1} = -L_d - L_R - \frac{dM_j}{dt} \quad (24)$$

$$V_{j+1} = L_d + L_R + \frac{dM_j}{dt} \quad (25)$$

$$T_r = \frac{T}{T_c} R = \frac{L_R}{L_d} \quad (26)$$

$$L_R = RL_d \quad (27)$$

$$V_{j+1} = L_d + RL_d + \frac{dM_j}{dt} \quad (28)$$

$$V_{j+1} = L_d (1 + R) + \frac{dM_j}{dt} \quad (29)$$

$$Q_{cond} = \left(L_d (1 + R) + \frac{dM_j}{dt} \right) (H_{j+1} - h_j) - \frac{d(M_j h_j)}{dt} \quad (30)$$

$$Q_{cond} = \left(L_d (1 + R) (H_{j+1} - h_j) + (H_{j+1} - h_j) \frac{dM_j}{dt} \right) - \frac{d(M_j h_j)}{dt} \quad (31)$$

$j = I$ için

$$Q_{cond} = \left(L_d (1 + R) (H_2 - h_1) + (H_2 - h_1) \frac{dM_1}{dt} \right) - \frac{d(M_1 h_1)}{dt} \quad (32)$$

$$Q_{cond} = L_d (1 + R) (H_2 - h_1) + (H_2 - h_1) \frac{dM_1}{dt} - \frac{d(M_1 h_1)}{dt} \quad (33)$$

Enerji denklemi yazılırsa,

$$\frac{d(Mh)}{dt} = F_a h_a + F_e h_e + Q_{reb} - L_d h_1 - L_b h_n - Q_{cond} \quad (34)$$

$$\begin{aligned} \frac{d(Mh)}{dt} = F_a h_a + F_e h_e + Q_{reb} - L_d h_1 - L_b h_n + \dots \\ \dots - \left(L_d (1 + R) (H_2 - h_1) + (H_2 - h_1) \frac{dM_1}{dt} - \frac{d(M_1 h_1)}{dt} \right) \end{aligned} \quad (35)$$

$$\begin{aligned} \frac{d(Mh)}{dt} = F_a h_a + F_e h_e + Q_{reb} - L_d h_1 - L_b h_n - L_d (1 + R) (H_2 - h_1) + \dots \\ \dots - (H_2 - h_1) \frac{dM_1}{dt} + \frac{d(M_1 h_1)}{dt} \end{aligned} \quad (36)$$

$$\begin{aligned} \frac{d(Mh)}{dt} = & F_a h_a + F_e h_e + Q_{reb} - L_b h_n - L_d (1+R)(H_2 - h_1) + \dots \\ & \dots - L_d h_1 - (H_2 - h_1) \frac{dM_1}{dt} + \frac{d(M_1 h_1)}{dt} \end{aligned} \quad (37)$$

$$\begin{aligned} \frac{d(Mh)}{dt} = & F_a h_a + F_e h_e + Q_{reb} - L_b h_n - L_d ((1+R)(H_2 - h_1) + h_1) + \dots \\ & \dots - (H_2 - h_1) \frac{dM_1}{dt} + \frac{d(M_1 h_1)}{dt} \end{aligned} \quad (38)$$

$$\begin{aligned} L_d ((1+R)(H_2 - h_1) + h_1) = & F_a h_a + F_e h_e + Q_{reb} - L_b h_n - (H_2 - h_1) \frac{dM_1}{dt} + \dots \\ & \dots + \frac{d(M_1 h_1)}{dt} - \frac{d(Mh)}{dt} \end{aligned} \quad (39)$$

$$L_d = \frac{F_a h_a + F_e h_e + Q_{reb} - L_b h_n - (H_2 - h_1) \frac{dM_1}{dt} + \frac{d(M_1 h_1)}{dt} - \frac{d(Mh)}{dt}}{((1+R)(H_2 - h_1) + h_1)} \quad (40)$$

$$L_d = \frac{F_a h_a + F_e h_e + Q_{reb} - L_b h_n - (H_2 - h_1) \frac{dM_1}{dt} + \frac{d(M_1 h_1)}{dt} - \frac{d(Mh)}{dt}}{((1+R)H_2 - (1+R)h_1 + h_1)} \quad (41)$$

$$L_d = \frac{F_a h_a + F_e h_e + Q_{reb} - L_b h_n - (H_2 - h_1) \frac{dM_1}{dt} + \frac{d(M_1 h_1)}{dt} - \frac{d(Mh)}{dt}}{(1+R)H_2 - (1+R)h_1 + h_1} \quad (42)$$

$$L_d = \frac{F_a h_a + F_e h_e + Q_{reb} - L_b h_n - (H_2 - h_1) \frac{dM_1}{dt} + \frac{d(M_1 h_1)}{dt} - \frac{d(Mh)}{dt}}{(1+R)H_2 - (h_1 + Rh_1) + h_1} \quad (43)$$

$$L_d = \frac{F_a h_a + F_e h_e + Q_{reb} - L_b h_n - (H_2 - h_1) \frac{dM_1}{dt} + \frac{d(M_1 h_1)}{dt} - \frac{d(Mh)}{dt}}{(1+R)H_2 - h_1 - Rh_1 + h_1} \quad (44)$$

$$L_d = \frac{F_a h_a + F_e h_e + Q_{reb} - L_b h_n - (H_2 - h_1) \frac{dM_1}{dt} + \frac{d(M_1 h_1)}{dt} - \frac{d(Mh)}{dt}}{(1+R)H_2 - Rh_1} \quad (45)$$

Kütle denkliği yazılırsa,

$$\frac{dM}{dt} = F_a + F_e - L_d - L_b + r_t \quad (46)$$

$$L_b = F_a + F_e - L_d + r_t - \frac{dM}{dt} \quad (47)$$

$$L_d = \frac{F_a h_a + F_e h_e + Q_{reb} - \left(F_a + F_e - L_d + r_t - \frac{dM}{dt} \right) h_n + \dots}{(1+R)H_2 - Rh_1} \quad (48)$$

$$L_d = \frac{F_a h_a + F_e h_e + Q_{reb} - \left(F_a h_n + F_e h_n - L_d h_n + r_t h_n - h_n \frac{dM}{dt} \right) + \dots}{(1+R)H_2 - Rh_1} \quad (49)$$

$$L_d = \frac{F_a h_a + F_e h_e + Q_{reb} - F_a h_n - F_e h_n + L_d h_n - r_t h_n + h_n \frac{dM}{dt} + \dots}{(1+R)H_2 - Rh_1} \quad (50)$$

$$L_d ((1+R)H_2 - Rh_1) = F_a h_a + F_e h_e + Q_{reb} - F_a h_n - F_e h_n + L_d h_n - r_t h_n + h_n \frac{dM}{dt} - (H_2 - h_1) \frac{dM_1}{dt} + \frac{d(M_1 h_1)}{dt} - \frac{d(Mh)}{dt} \quad (51)$$

$$L_d ((1+R)H_2 - Rh_1) - L_d h_n = F_a h_a + F_e h_e + Q_{reb} - F_a h_n - F_e h_n - r_t h_n + h_n \frac{dM}{dt} - (H_2 - h_1) \frac{dM_1}{dt} + \frac{d(M_1 h_1)}{dt} - \frac{d(Mh)}{dt} \quad (52)$$

$$L_d ((1+R)H_2 - Rh_1 - h_n) = F_a h_a + F_e h_e + Q_{reb} - F_a h_n - F_e h_n - r_t h_n + h_n \frac{dM}{dt} - (H_2 - h_1) \frac{dM_1}{dt} + \frac{d(M_1 h_1)}{dt} - \frac{d(Mh)}{dt} \quad (53)$$

$$L_d = \frac{F_a h_a + F_e h_e + Q_{reb} - F_a h_n - F_e h_n - r_t h_n + h_n \frac{dM}{dt} + \dots}{(1+R)H_2 - Rh_1 - h_n} \quad (54)$$

$$L_d = \frac{F_a h_a - F_a h_n + F_e h_e - F_e h_n + Q_{reb} - r_t h_n + h_n \frac{dM}{dt} + \dots}{(1+R)H_2 - Rh_1 - h_n} \quad (55)$$

$$L_d = \frac{F_a (h_a - h_n) + F_e (h_e - h_n) + Q_{reb} - r_t h_n + h_n \frac{dM}{dt} + \dots}{(1+R)H_2 - Rh_1 - h_n} \quad (56)$$

Sıvı entalpi içeren olan terimler ihmal edilirse (Franks, 1972),

$$L_d = \frac{F_a (h_a - h_n) + F_e (h_e - h_n) + Q_{reb} - r_t h_n}{(1+R)H_2 - Rh_1 - h_n} \quad (57)$$

$$R = \frac{L_R}{L_d} \Rightarrow L_R = RL_d \quad (58)$$

$$V_r = L_R + L_d = RL_d + L_d = L_d (R+1) \quad (59)$$

$$V_r = L_d (R+1) \Rightarrow L_d = \frac{V_r}{(R+1)} \quad (60)$$

$$T_r = \frac{T}{T_c} V_{rm} = V_r m w_{av} \quad (61)$$

$$V_{rv} = \frac{V_{rm}}{\rho_{av}} \quad (62)$$

$$v_V = \frac{V_{rv}}{A_c} \quad (63)$$

$$L_R = V_r - L_d \quad (64)$$

$$L_r = L_R \quad (65)$$

$$L_{rm} = L_r mw_{av} \quad (66)$$

$$L_{rv} = \frac{L_{rm}}{\rho_{av}} \quad (67)$$

$$v_L = \frac{L_{rv}}{A_c} \quad (68)$$

$$L_{rx} = L_r + F_a q_{fa} \quad (69)$$

$$L_s = L_{rx} + F_e q_{fe} \quad (70)$$

$$L_b = F_a + F_e - L_d \quad (71)$$

Entalpiler

$$h_j = \sum_{i=1}^m (x_{j,i} C_{p_{j,i}} T_j) \quad (72)$$

$$H_j = \sum_{i=1}^m (y_{j,i} C_{p_{j,i}} T_j + \lambda_{j,i}) \quad (73)$$

Kinetik Modeller

$$k_f = 4.24 \times 10^3 \exp\left(\frac{-48300}{R_g T}\right) \quad (74)$$

$$k_b = 4.55 \times 10^5 \exp\left(\frac{-66200}{R_g T}\right) \quad (75)$$

(Lai vd. 2007)

Ortalama Moleküler Ağırlığı Hesaplaması

$$mw_{av} = \sum_{i=1}^m x_i mw_i \quad (76)$$

Ortalama sıvı Yoğunluğu Hesaplaması

$$\rho_{av} = \sum_{i=1}^m \frac{x_i m w_i}{m w_{av}} \rho_i \quad (77)$$

Kütle Transfer Katsayısı Hesaplaması

$$k_y a = b_{corr} (v_V)^{m_{corr}} (v_L)^{n_{corr}} P \quad (78)$$

$$b_{corr} = 1.28 \times 10^{-5} \quad (79)$$

$$m_{corr} = 0.64 \quad (80)$$

$$b_{corr} = 0.84 \quad (81)$$

(Karacan vd. 1998)

EK 3 Teorik Dinamik Model Çözümü İçin MATLAB Kodları

```
function f = Column_Function(t,x)
```

```
global n m nfa nfe Fa Fe Mc Mr Mnfa Mnfe Ms Mrx Vs Mb xfa xfe Vb Lb LR T0 P al bl cl dl el av bv cv  
dv ev alb blb clb dlb Tc Tsegment Rg kf kb miu Ldv mw rho R qfe qfa Wr Wrx dz bcorr mcorr ncorr Ac  
Acat rhocat Qreb
```

```
for j = 1:n
```

```
    x1(j) = x(j);  
    x2(j) = x(j+1*n);  
    x3(j) = x(j+2*n);  
    x4(j) = x(j+3*n);
```

```
end
```

```
%%%%%%%%%%%%%% Ideal %%%%%%%%%%%%%%%
```

```
for j = 1:n
```

```
    xx(j,:) = [x1(j) x2(j) x3(j) x4(j)];  
    [ye(j,:) Tbubl(j,:)] = Ideal_Bubble(T0,xx(j,:));  
    T(j,:) = real(Tbubl(j,:));  
    Tsegment = T - 273;
```

```
end
```

```
%%%%%%%%%%%%%% NRTL_fsolve %%%%%%%%%%%%%%%
```

```
% for j = 1:n
```

```
%    xx(j,:) = [x1(j) x2(j) x3(j) x4(j)];  
%    [yandT(j,:) ytoplam(j,:)] = NRTLBubble(T0,xx(j,:));  
%    ye(j,1:m) = yandT(j,1:m);  
%    Tbubl(j,1) = yandT(j,m+1);  
%    T(j,1) = Tbubl(j,1);  
%    Tsegment = Tbubl - 273;
```

```
% end
```

```
%%%%%%%%%%%%%% Ideal fsolve %%%%%%%%%%%%%%%
```

```
% for j = 1:n
```

```
%    xx(j,:) = [x1(j) x2(j) x3(j) x4(j)];  
%    xx  
%    [yandT(j,:) ytotal(j,:)] = IdealBubble(T0,xx(j,:));  
%    ye(j,1:m) = yandT(j,1:m);  
%    Tbubl(j,1) = yandT(j,m+1);  
%    T(j,1) = Tbubl(j,1);  
%    Tsegment = Tbubl - 273;
```

```
% end
```

```
for j = 1:n
```

```
    kf(j) = 4.24E3*exp(-48300/(Rg*T(j)));  
    kb(j) = 4.55E5*exp(-66200/(Rg*T(j)));
```

```
end
```

```
% for j = 1:n
```

```
%    kf(j) = (2.811E3)*exp((28.49E3)/(Rg*T(j)));  
%    kb(j) = (0.051E3)*exp((26.70E3)/(Rg*T(j)));  
% end
```

```
for j = 1:n
```

```
    for i = 1:m
```

```

        mws(j,i) = xx(j,i) * mw(i);
    end
    mwj(j,:) = sum(mws(j,:));
end

for j = 1:n
    for i = 1:m
        rhos(j,i) = (xx(j,i) * mw(i) * rho(i))/mwj(j);
    end
    rhoj(j,:) = sum(rhos(j,:));
end

%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% %%%%%%%%% Uncomment if the distillate is to be specified
% for j = 1
%     Ld = Ldv*rhoj(j)/mwj(j);
% end
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% %%%%%%%%% Uncomment if the reboiler duty is to be specified
for j = 1:n
    for i = 1:m
        hs(j,i) = xx(j,i)*(al(i) + bl(i)*T(j) + cl(i)*T(j)^2 + dl(i)*T(j)^3 + el(i)*T(j)^4)*T(j); %%%%%%%%%
    end
    h(j,:) = sum(hs(j,:));
end

for j = 1:n
    for i = 1:m
        Tr(j,i) = T(j)/Tc(i);
        lambda(j,i) = alb(i)*(1-Tr(j,i))^(blb(i)+clb(i)*Tr(j,i)+dlb(i)*Tr(j,i)*Tr(j,i)); %%%%%%%%% J/kmol
        Hs(j,i) = ye(j,i)*(av(i) + bv(i)*((cv(i)/T(j))/(sinh(cv(i)/T(j))))^2 +
        dv(i)*((ev(i)/T(j))/(sinh(ev(i)/T(j))))^2)*T(j) + lambda(j,i); %%%%%%%%% J/(kmol)
    end
    H(j,:) = sum(Hs(j,:));
end

for j = 1:n
    for i = 1:m
        rrts(j,i) = miu(i)*Wrx*Acat*rhocat*(kf(j)*(xx(j,1)^(1.5))*xx(j,2) - kb(j)*xx(j,3)*xx(j,4)); %%%%%%%%%
    end
    rrT(j,:) = sum(rrts(j,:));
end

rTrxn = 0;
for j = nfa+1:nfe-1

```

```

    rTrxn = rTrxn + rrT(j);
end

```

```

rTrebb = 0;
for j = n
    rTrebb = rTrebb + rrT(j);
end
rt = rTrxn + rTrebb;

```

```

Ld = (Fa*(h(nfa)-h(end)) + Fe*(h(nfe)-h(end)) + Qreb - rt*h(end))/((1+R)*H(2) - R*h(1) - h(end));
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

Vr = Ld * (R+1);
Vrx = Vr;
Vs = Vrx;
Vb = Vs;
LR = Vr - Ld;
Lr = LR;
Lrx = Lr + Fa*qfa;
Ls = Lrx + Fe*qfe;
Lb = Fa + Fe - Ld;

```

```

for j = 1:n
    Lrm(j,:) = Lr*mwj(j,:);
end

```

```

for j = 1:n
    Lrv(j,:) = Lrm(j,:)/rhoj(j,:);
end

```

```

for j = 1:n
    vL(j,:) = Lrv(j,:)/Ac;
end

```

```

for j = 1:n
    Vrm(j,:) = Vr*mwj(j,:);
end

```

```

for j = 1:n
    Vrv(j,:) = Vrm(j,:)/rhoj(j,:);
end

```

```

for j = 1:n
    vV(j,:) = Vrv(j,:)/Ac;
end

```

```

for j = 1:n
    kya(j,:) = bcorr*(vV(j,)^mcorr)*(vL(j,)^ncorr)*P;
end

```

```

y(1,:) = ye(1,:);
for j = 2:n
    y(j,:) = (((kya(j,)*Ac*dz)/Vr)*ye(j,:) + y(j-1,:))/(1 + ((kya(j,)*Ac*dz)/Vr));
end

```

%Condenser section

for j = 1

$$f(j+0*n) = (Vr*ye(j+1+0*n) - (Ld + LR)*x(j+0*n))/Mc;$$

$$f(j+1*n) = (Vr*ye(j+1+1*n) - (Ld + LR)*x(j+1*n))/Mc;$$

$$f(j+2*n) = (Vr*ye(j+1+2*n) - (Ld + LR)*x(j+2*n))/Mc;$$

$$f(j+3*n) = (Vr*ye(j+1+3*n) - (Ld + LR)*x(j+3*n))/Mc;$$

end

%Rectifying section

for j = 2:nfa-1

$$f(j+0*n) = (Lr*((x(j-1+0*n) - x(j+0*n))/dz) - (kya(j,:) * Ac*(ye(j+1+0*n) - y(j+0*n))))/Mr;$$

$$f(j+1*n) = (Lr*((x(j-1+1*n) - x(j+1*n))/dz) - (kya(j,:) * Ac*(ye(j+1+1*n) - y(j+1*n))))/Mr;$$

$$f(j+2*n) = (Lr*((x(j-1+2*n) - x(j+2*n))/dz) - (kya(j,:) * Ac*(ye(j+1+2*n) - y(j+2*n))))/Mr;$$

$$f(j+3*n) = (Lr*((x(j-1+3*n) - x(j+3*n))/dz) - (kya(j,:) * Ac*(ye(j+1+3*n) - y(j+3*n))))/Mr;$$

end

%Acetic acid feed section

for j = nfa

$$f(j+0*n) = (Lr*x(j-1+0*n) + Vs*ye(j+1+0*n) + Fa*xfa(1) - Lrx*x(j+0*n) - Vr*ye(j+0*n))/Mnfa;$$

$$f(j+1*n) = (Lr*x(j-1+1*n) + Vs*ye(j+1+1*n) + Fa*xfa(2) - Lrx*x(j+1*n) - Vr*ye(j+1*n))/Mnfa;$$

$$f(j+2*n) = (Lr*x(j-1+2*n) + Vs*ye(j+1+2*n) + Fa*xfa(3) - Lrx*x(j+2*n) - Vr*ye(j+2*n))/Mnfa;$$

$$f(j+3*n) = (Lr*x(j-1+3*n) + Vs*ye(j+1+3*n) + Fa*xfa(4) - Lrx*x(j+3*n) - Vr*ye(j+3*n))/Mnfa;$$

end

%Reaction section

for j = nfa+1:nfe-1

$$f(j+0*n) = (Lrx*((x(j-1+0*n) - x(j+0*n))/dz) - (kya(j,:) * Ac*(ye(j+1+0*n) - y(j+0*n))) + \text{miu}(1)*Wrx*Acat*rhocat*(kf(j)*((x1(j))^{1.5})*x2(j)-kb(j)*x3(j)*x4(j)))/Mrx;$$

$$f(j+1*n) = (Lrx*((x(j-1+1*n) - x(j+1*n))/dz) - (kya(j,:) * Ac*(ye(j+1+1*n) - y(j+1*n))) + \text{miu}(2)*Wrx*Acat*rhocat*(kf(j)*((x1(j))^{1.5})*x2(j)-kb(j)*x3(j)*x4(j)))/Mrx;$$

$$f(j+2*n) = (Lrx*((x(j-1+2*n) - x(j+2*n))/dz) - (kya(j,:) * Ac*(ye(j+1+2*n) - y(j+2*n))) + \text{miu}(3)*Wrx*Acat*rhocat*(kf(j)*((x1(j))^{1.5})*x2(j)-kb(j)*x3(j)*x4(j)))/Mrx;$$

$$f(j+3*n) = (Lrx*((x(j-1+3*n) - x(j+3*n))/dz) - (kya(j,:) * Ac*(ye(j+1+3*n) - y(j+3*n))) + \text{miu}(4)*Wrx*Acat*rhocat*(kf(j)*((x1(j))^{1.5})*x2(j)-kb(j)*x3(j)*x4(j)))/Mrx;$$

end

%Ethanol feeder section

for j = nfe

$$f(j+0*n) = (Lrx*x(j-1+0*n) + Vs*ye(j+1+0*n) + Fe*xfe(1) - Ls*x(j+0*n) - Vrx*ye(j+0*n))/Mnfe;$$

$$f(j+1*n) = (Lrx*x(j-1+1*n) + Vs*ye(j+1+1*n) + Fe*xfe(2) - Ls*x(j+1*n) - Vrx*ye(j+1*n))/Mnfe;$$

$$f(j+2*n) = (Lrx*x(j-1+2*n) + Vs*ye(j+1+2*n) + Fe*xfe(3) - Ls*x(j+2*n) - Vrx*ye(j+2*n))/Mnfe;$$

$$f(j+3*n) = (Lrx*x(j-1+3*n) + Vs*ye(j+1+3*n) + Fe*xfe(4) - Ls*x(j+3*n) - Vrx*ye(j+3*n))/Mnfe;$$

end

%Stripping section

for j = nfe+1:n-1

$$f(j+0*n) = (Ls*((x(j-1+0*n) - x(j+0*n))/dz) - (kya(j,:) * Ac*(ye(j+1+0*n) - y(j+0*n))))/Ms;$$

$$f(j+1*n) = (Ls*((x(j-1+1*n) - x(j+1*n))/dz) - (kya(j,:) * Ac*(ye(j+1+1*n) - y(j+1*n))))/Ms;$$

$$f(j+2*n) = (Ls*((x(j-1+2*n) - x(j+2*n))/dz) - (kya(j,:) * Ac*(ye(j+1+2*n) - y(j+2*n))))/Ms;$$

$$f(j+3*n) = (Ls*((x(j-1+3*n) - x(j+3*n))/dz) - (kya(j,:) * Ac*(ye(j+1+3*n) - y(j+3*n))))/Ms;$$

end

%Reboiler section with reaction

for j = n

$$f(j+0*n) = (Ls*x(j-1+0*n) - Lb*x(j+0*n) - Vb*ye(j+0*n) + \text{miu}(1)*Wrx*(kf(j)*((x1(j))^{1.5})*x2(j)-kb(j)*x3(j)*x4(j)))/Mb;$$

```

    f(j+1*n) = (Ls*x(j-1+1*n) - Lb*x(j+1*n) - Vb*ye(j+1*n) + miu(2)*Wr*(kf(j)*((x1(j))^(1.5))*x2(j)-
kb(j)*x3(j)*x4(j)))/Mb;
    f(j+2*n) = (Ls*x(j-1+2*n) - Lb*x(j+2*n) - Vb*ye(j+2*n) + miu(3)*Wr*(kf(j)*((x1(j))^(1.5))*x2(j)-
kb(j)*x3(j)*x4(j)))/Mb;
    f(j+3*n) = (Ls*x(j-1+3*n) - Lb*x(j+3*n) - Vb*ye(j+3*n) + miu(4)*Wr*(kf(j)*((x1(j))^(1.5))*x2(j)-
kb(j)*x3(j)*x4(j)))/Mb;
end
f = f';

```

```

function [y,T]=Ideal_Bubble(T0,x)
global m Aa Ba Ca P

```

```

p = zeros(1,m);
y = zeros(1,m);
Dy = zeros(1,m);
T = T0;
iter = 1;

```

```

while iter <= 10000
    for i = 1:m;
        p(i) = exp(Aa(i)-(Ba(i)/(Ca(i)+T)));
        y(i)=(p(i)*x(i))/P;
        Dy(i)=y(i)*Ba(i)/((T+Ca(i))^2);
    end

```

```

    yt = sum(y);
    Dyt = sum(Dy);
    error=1-yt;
    T = T0+(error/Dyt);

```

```

    if abs(error)<0.000000001
        T = T0;
        break
    else
        T0 = T;
    end
end
end

```

```

function [yT ytoplam] = NRTLBubble(T0,x)
global m xx

```

```

xx = x;

```

```

y0(1) = 0.05;
y0(2) = 0.1;
y0(3) = 0.45;
y0(4) = 1 - y0(1) - y0(2) - y0(3);
y0(m+1) = T0;

```

```

options = optimset('TolX', 1e-3, 'TolFun', 1e-3);
[yT] = fsolve(@Bubble_NRTL, y0, options);

```

```

    ytoplam = 0;
    for i = 1:m
        ytoplam = ytoplam + yT(i);
    end

function f = Bubble_NRTL(y)
global m Aa Ba Ca P xx anrtl bnrtl

    x = xx;

    for i = 1:m
        y(i) = y(i);
    end
    T = y(m+1);

    for i = 1:m
        Psat(i) = exp(Aa(i) - Ba(i)/(Ca(i) + T));
    end

    for i = 1:m
        for j = 1:m
            tau(i,j) = bnrtl(i,j)/T;
        end
    end

    for i = 1:m
        for j = 1:m
            G(i,j) = exp(-anrtl(i,j) * tau(i,j));
        end
    end

    Gg1ns = zeros(m,1);
    for i = 1:m
        for j = 1:m
            Gg1ns(i) = (Gg1ns(i) + tau(j,i)*G(j,i)*x(j));
        end
    end

    Gg1ds = zeros(m,1);
    for i = 1:m
        for j = 1:m
            Gg1ds(i) = Gg1ds(i) + G(j,i)*x(j);
        end
    end
    Gil = Gg1ns./Gg1ds;

    Gg2ns = zeros(m,1);
    for i = 1:m
        for j = 1:m
            Gg2ns(i) = Gg2ns(i) + x(j)*G(i,j);
        end
    end

    Gg2ds = 0;
    for k = 1:m
        for j = 1:m

```

```

        Gg2ds = Gg2ds + x(k)*G(k,j);
    end
end

```

```

    Gi2 = Gg2ns/Gg2ds;

```

```

    Gi3 = zeros(m,1);
    for i = 1:m
        for j = 1:m
            Gi3(i) = Gi3(i) + tau(i,j);
        end
    end
end

```

```

    Gg4ns = 0;
    for k = 1:m
        for j = 1:m
            Gg4ns = Gg4ns + x(k)*tau(k,j)*G(k,j);
        end
    end
end

```

```

    Gi4 = Gg4ns/Gg2ds;

```

```

    for i = 1:m
        gamma(i) = exp(Gi1(i) + Gi2(i) * (Gi3(i) - Gi4));
    end

```

```

    for i = 1:m
        f(i) = x(i) * gamma(i) * Psat(i) - P * y(i);
    end

```

```

    ysum = 0;
    for i = 1:m
        ysum = ysum + y(i);
    end

```

```

    f(m+1) = ysum - 1;

```

```

commandwindow
clear all
clc
close all
format bank

```

```

starttime = cputime;
global n m nfa nfe Fa Fe Mc Mr Mnfa Mnfe Ms Mrx Mb xfa xfe T0 P Aa Ba Ca al bl cl dl el av bv cv dv
ev alb blb clb dlb Tc Tsegment Rg miu Ldv mw rho R qfe qfa Wr Wrx dz bcorr mcorr ncorr Ac anrtl
bnrtl Acat rhocat Qreb

```

```

m = 4;          %%%%%%%%% No of components
n = 19;         %%%%%%%%% No of stages
nfa = 7;        %%%%%%%%% Acetic acid feed plate
nfe = 13;       %%%%%%%%% Ethanol feed plate
qfa = 1;        %%%%%%%%% q of acetic acid feed
qfe = 1;        %%%%%%%%% q of ethanol feed
T0 = 300;       %%%%%%%%% Guess temperature (K)
P = 760;        %%%%%%%%% Operating pressure (mmHg)

```

```

Rg = 8.314;      % Universal gas constant (kJ/(kmol K))
Wr = 0.005;      % Weight of catalyst in the reboiler (kg)
Wrx = 0.1;       % Weight of catalyst in the reaction section (kg)
miu = [-1 -1 1 1]; % Stoichiometric coefficient
Ldv = 4/1E6/60;  % m3/s*****
mw = [60.05 46.07 88.1 18.016]; % kg/kmol
rho = [1049 789 901 1000]; % kg/m3
Hc = 1.5;        % m
Dc = 0.05;       % m
dz = Hc/n;       % m
Ac = pi*Dc^2/4;  % m^2
Acat = 53E3;     % m^2/kg
rhocat = 770;    % kg/m^3
bcorr = 1.28E-5;
mcorr = 0.64;
ncorr = 0.84;

```

% Antoine constants of the components

```

Aa = [16.808 18.9119 16.1516 18.3036];
Ba = [3405.57 3803.98 2790.5 3816.44];
Ca = [-56.34 -41.68 -57.15 -46.13];

```

% Specific heat capacity coefficients for liquid components

```

al = [139640 102640 226230 276370];
bl = [-320.8 -139.63 -624.8 -2090.1];
cl = [8.9850E-01 -3.0341E-02 1.472 8.125];
dl = [0 2.0386E-03 0 -1.4116E-02];
el = [0 0 0 9.3701E-06];

```

% Specific heat capacity coefficients for vapour components

```

av = [40200 49200 99810 33360];
bv = [136750 145770 209310 26790];
cv = [1262 1662.8 2022.6 2610.5];
dv = [70030 93900 180300 8900];
ev = [569.7 744.7 928.05 1169];

```

% Critical temperatures of the components

```

Tc = [591.95 513.92 523.3 647.13]; % K

```

% Latent heat constants of the components

```

alb = [20265000 56900000 49330000 52053000];
blb = [0.11911 0.3359 0.3847 0.3199];
clb = [-1.3487 0 0 -0.212];
dlb = [1.4227 0 0 0.25795];

```

% Non Random Two Liquid parameters

```

% anrtl = [0 0.2992 0.2987 0.3031
%          0.2992 0 0.3138 0.2997
%          0.2987 0.3138 0 0.4104
%          0.3031 0.2997 0.4104 0];
% bnrtl = [0 -147.787 162.349 -55.1681
%          105.313 0 -219.879 -110.568
%          154.208 424.869 0 470.858
%          670.441 424.019 1165.66 0];

```

```

anrtl = [0 0.299198002 0.313600004 0.299699008
0.299198002 0 0.298400015 0.303099006

```

```

0.313600004 0.298400015 0 0.410400003
0.299699008 0.303099006 0.410400003 0];
bnrtl = [0 -147.8242035 457.7296143 424.1242981
105.3394012 0 72.89122009 670.6154785
-223.9071045 230.3647003 0 1165.93396
-110.5972977 -55.18392181 470.9758911 0];
bnrtl = bnrtl';

Mna = (750/1E6)*rho(1)/mw(1); %%%%% Initial acetic acid feed in the reboiler (kmol);
Mne = (750/1E6)*rho(2)/mw(2); %%%%% Initial ethanol feed in the reboiler (kmol);
Mb0 = Mna + Mne; %%%%% Initial total feed in the reboiler (kmol)
Mc = 0.001*Mb0; %%%%% Hold up in the condenser (kmol)
Mr = 0.2*Mb0; %%%%% Hold up in the rectifying section (kmol)
Mnfa = Mr; %%%%% Hold up in the acetic acid feed stage (kmol)
Mrx = Mnfa; %%%%% Hold up in the reaction stage (kmol)
Mnfe = Mrx; %%%%% Hold up in the ethanol feed stage (kmol)
Ms = Mnfe; %%%%% Hold up in the stripping section (kmol)
Mb = Mb0 - Mc - Mr; %%%%% Hold up in the reboiler (kmol)

%Manipulated variables
R = 3; %%%%% Reflux ratio
Fa = (10/1E6/60)*rho(1)/mw(1); %%%%% Acetic acid feed rate (kmol/s)
Fe = (10/1E6/60)*rho(2)/mw(2); %%%%% Ethanol feed rate (kmol/s)
Qreb = 630;

%%%% Composition of acetic acid feed
xfa(1)=0.99;
xfa(2)=0.00;
xfa(3)=0.00;
xfa(4)=1-xfa(1)-xfa(2)-xfa(3);

%%%% Composition of ethanol feed
xfe(1)=0.00;
xfe(2)=0.99;
xfe(3)=0.00;
xfe(4)=1-xfe(1)-xfe(2)-xfe(3);

xfae(1) = 0.45;
xfae(2) = 0.45;
xfae(3) = 0.10;
xfae(4) = 1 - xfae(1) - xfae(2) - xfae(3);

for j = 1:n
    x0(j) = xfae(1);
end

for j = 1:n
    x0(j+n) = xfae(2);
end

for j = 1:n
    x0(j+n+n) = xfae(3);
end

for j = 1:n
    x0(j+n+n+n) = xfae(4);
end

```

```

end

[t xud] = ode15s('Column_Function', [0 17000], x0);

for j=1:n,
    AcH_ss(j)=xud(end,j);
end

for j=1:n,
    EtOH_ss(j)=xud(end,j+n);
end

for j=1:n,
    EtAc_ss(j)=xud(end,j+n+n);
end

for j=1:n,
    H2O_ss(j)=xud(end,j+n+n+n);
end

segment = 1:j;
xssud_total = AcH_ss'+EtOH_ss'+EtAc_ss'+H2O_ss';
xssud_profile = [segment' AcH_ss' EtOH_ss' EtAc_ss' H2O_ss' xssud_total Tsegment];
disp(xssud_profile)
solution = [AcH_ss(1) AcH_ss(end); EtOH_ss(1) EtOH_ss(end); EtAc_ss(1) EtAc_ss(end); H2O_ss(1)
H2O_ss(end); Tsegment(1) Tsegment(end)];
disp(solution)

for i=1:length(t)
    for j=1:n
        AcH(i,j)=xud(i,j); %Dimensionless
        EtOH(i,j)=xud(i,j+n); %Dimensionless
        EtAc(i,j)=xud(i,j+n+n); %Dimensionless
        H2O(i,j)=xud(i,j+n+n+n); %Dimensionless
    end
end

pleft = 1;
pbottom = 1;
pwidth = 16;
pheight = 17;
naxes = 1;
aleft = 0.12;
awidth = 0.83;
abottom = 0.09;
amiddle = 0.1;
atop = 0.01;
vaxes = 1 - abottom - amiddle * (naxes - 1) - atop;
aheight = (vaxes / naxes) - 0.01;

figure1 = figure('Name', 'Condenser composition profiles', 'NumberTitle', 'Off', 'PaperType', 'A4',
'PaperPositionMode', 'manual', 'PaperUnits','centimeters', 'PaperPosition',[pleft pbottom pwidth pheight],
'Position', get(0,'Screensize'));
axes1 = axes('Parent', figure1, 'position',[aleft abottom+0*(aheight+amiddle) awidth aheight],
'FontName','Times New Roman', 'FontSize', 12);

```

```

hold(axes1, 'all')
plot(t, AcH(:,1), 'k--', t, EtOH(:,1), 'k-', t, EtAc(:,1), 'k*-', t, H2O(:,1), 'k-')
xlabel('Birim', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
ylabel('Sıvı mol kesri', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
legend('Asetik asit', 'Etanol', 'Etil asetat', 'Su')
axis tight
box on
shg

```

```

figure1 = figure('Name', 'Reboiler composition profiles', 'NumberTitle', 'Off', 'PaperType', 'A4',
'PaperPositionMode', 'manual', 'PaperUnits','centimeters', 'PaperPosition',[pleft pbottom pwidth pheight],
'Position', get(0,'Screensize'));
axes1 = axes('Parent', figure1, 'position',[aleft abottom+0*(aheight+amiddle) awidth aheight],
'FontName','Times New Roman', 'FontSize', 12);
hold(axes1, 'all')
plot(t, AcH(:,n), 'k--', t, EtOH(:,n), 'k-', t, EtAc(:,n), 'k*-', t, H2O(:,n), 'k-')
xlabel('Birim', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
ylabel('Sıvı mol kesri', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
legend('Asetik asit', 'Etanol', 'Etil asetat', 'Su')
axis tight
box on
shg

```

```

figure1 = figure('Name', 'Steady state temperature profile', 'NumberTitle', 'Off', 'PaperType', 'A4',
'PaperPositionMode', 'manual', 'PaperUnits','centimeters', 'PaperPosition',[pleft pbottom pwidth pheight],
'Position', get(0,'Screensize'));
axes1 = axes('Parent', figure1, 'position',[aleft abottom+0*(aheight+amiddle) awidth aheight],
'FontName','Times New Roman', 'FontSize', 12, 'xTick', 1:1:n, 'xTickLabel', {'Cond', 1:1:n-2, 'Reb'});
hold(axes1, 'all')
plot(segment, Tsegment, 'k-x')
xlabel('Segment', 'FontName', 'Helvetica', 'FontSize', 10)
ylabel('Temperature ( ^oC)', 'FontName', 'Helvetica', 'FontSize', 10)
axis tight
box on
grid on
shg

```

```

figure1 = figure('Name', 'Steady state composition profiles', 'NumberTitle', 'Off', 'PaperType', 'A4',
'PaperPositionMode', 'manual', 'PaperUnits','centimeters', 'PaperPosition',[pleft pbottom pwidth pheight],
'Position', get(0,'Screensize'));
axes1 = axes('Parent', figure1, 'position',[aleft abottom+0*(aheight+amiddle) awidth aheight],
'FontName','Times New Roman', 'FontSize', 12, 'xTick', 1:length(Tsegment), 'xTickLabel', {'Cond',
1:length(Tsegment)-2, 'Reb'});
hold(axes1, 'all')
plot(segment, AcH_ss, 'k--', segment, EtOH_ss, 'k-', segment, EtAc_ss, 'k*-', segment, H2O_ss, 'k-')
xlabel('Birim', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
ylabel('Sıvı mol kesri', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
legend('Asetik asit', 'Etanol', 'Etil asetat', 'Su')
axis tight
box on
grid on
shg

```

```

stoptime = cputime;
Elapsed_time = (stoptime - starttime)/60;
fprintf('The elapsed time is %f minutes\n', Elapsed_time);

```

EK 4 Yapay Sinir Ağı Modelleri İçin MATLAB Kodları

```
%%%%%%%%%%%%%% NNNARX
%%%%%%%%%%%%%%
commandwindow
clear all
clc
close all

nndata = xlsread('nndata.xls');
reflux_ratio = nndata(:,1);
feed_ratio = nndata(:,2);
reboiler_duty = nndata(:,3);
Ttop = nndata(:,4);
Trxn = nndata(:,5);
Tbot = nndata(:,6);

uexp = [reflux_ratio feed_ratio reboiler_duty];
yexp = [Ttop Trxn Tbot];
u = con2seq(uexp');
y = con2seq(yexp');

ud = [1:3];
yd = [1:3];
hlayer = 5;
narx_net = narxnet(ud,yd,hlayer);
narx_net.divideFcn = 'dividerand';
narx_net.divideMode = 'time';
narx_net.divideParam.trainRatio = 80/100;
narx_net.divideParam.valRatio = 10/100;
narx_net.divideParam.testRatio = 10/100;
narx_net.trainFcn = 'trainlm';
narx_net.trainParam.epochs = 5000;
narx_net.trainParam.showWindow = 0;
narx_net.trainParam.showCommandLine = 1;
[ue,udi,ldi,ye] = preparets(narx_net,u,{},y);
[narx_net narx_trec] = train(narx_net,ue,ye,udi,ldi);
yp = sim(narx_net,ue,udi,ldi);
residualsss = gsubtract(yp,ye);
residualss = cell2mat(residualsss);
residuals = residualss';
narx_ypp = cell2mat(yp);
narx_yee = cell2mat(ye);
[r c] = size(narx_ypp);

for i = 1:c
    narx_fvalue(i) = 100*(1-norm(narx_yee(:,i)-narx_ypp(:,i))/norm(narx_yee(:,i)-mean(narx_yee(:,i))));
    narx_mae(i) = mae(residuals(:,i));
    narx_sae(i) = sae(residuals(:,i));
    narx_sse(i) = sse(residuals(:,i));
    narx_mse(i) = mse(residuals(:,i));
    narx_ccoeff(i) = corr2(narx_yee(:,i),narx_ypp(:,i));
    narx_rsq(i) = (corr2(narx_yee(:,i),narx_ypp(:,i))).^2;

    time = [0:1:r-1]';
    tg = 10;
    narx_yeeg = narx_yee(1:tg:length(narx_yee),:);
```

```

narx_yppg = narx_ypp(1:tg:length(narx_ypp),:);
timeg = time(1:tg:length(time),:);
naxes = 1;
pleft = 1;
pbottom = 1;
pwidth = 17;
pheight = 21;
plotnames = {'NNNARX Top Section', 'NNNARX Reaction Section', 'NNNARX Bottom Section'};
figure1 = figure('Name', plotnames{i}, 'NumberTitle', 'Off', 'PaperType', 'A4', 'PaperPositionMode',
'manual', 'PaperUnits', 'centimeters', 'PaperPosition', [pleft pbottom pwidth pheight], 'Position',
get(0,'Screensize'));
aleft = 0.1;
awidth = 0.85;
abottom = 0.07;
amiddle = 0.1;
atop = 0.01;
vaxes = 1 - abottom - amiddle * (naxes - 1) - atop;
aheight = (vaxes / naxes) - 0.01;
axes1 = axes('Parent', figure1, 'position', [aleft abottom+0*(aheight+amiddle) awidth aheight],
'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12);
hold(axes1, 'all')
plot(timeg, narx_yeeg(:,i), 'k-', 'MarkerSize', 5)
hold on
plot(timeg, narx_yppg(:,i), 'b-', 'MarkerSize', 5)
ylab = {'T_ü_s_t ( ^oC)', 'T_t_e_p ( ^oC)', 'T_a_l_t ( ^oC)'};
xlabel('t (s)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
ylabel(ylab{i}, 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
legend('Deneysel', 'NNNARX Modeli', 'Location', 'Best')
box on
shg
end
save('NNNARX_1.mat');
narx_mse
narx_ccoef

```

EK 5 Teorik Kontrol Algoritması İçin MATLAB Kodları

```
commandwindow
clear all
clc
close all
bdclose('all')
format bank

% load('RPDCControlInfo')
% clearvars -except model1 model2 model3 topmodel rxnmodel botmodel Ttopss ...
%      Trxnss Tbotss SMPC1 SMPC2 SMPC3 RMPC1 RMPC2

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Graph Dimension %%%%%%%%%%%%%%
pleft = 1;
pbottom = 1;
pwidth = 16;
pheight = 17;
naxes = 3;
aleft = 0.15;
awidth = 0.83;
abottom = 0.09;
amiddle = 0.1;
atop = 0.01;
vaxes = 1 - abottom - amiddle * (naxes - 1) - atop;
aheight = (vaxes / naxes) - 0.01;
ugh = 2.25;

ts = 1;
stm = 60;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Transfer Function Model Generation %%%%%%%%%%%%%%
tfdata = xlsread('tfdata.xls');
u1 = tfdata(:,1);
u2 = tfdata(:,2);
u3 = tfdata(:,3);
y1 = tfdata(:,4);
y2 = tfdata(:,5);
y3 = tfdata(:,6);

u = [u1 u2 u3];
modeltype = idproc({'P1D','P1D','P1D'});

y1data = iddata(y1,u,ts);
y1data = detrend(y1data,0);
model1 = pem(y1data,modeltype,'InitialState','auto');
model1
figure(1)
compare(y1data,model1)
legend('Location','Best')
xlabel('t (s)')
ylabel('T_t_o_p ( ^oC)')
title(' ')

y2data = iddata(y2,u,ts);
y2data = detrend(y2data,0);
model2 = pem(y2data,modeltype,'InitialState','auto');
model2
figure(2)
compare(y2data,model2)
legend('Location','Best')
xlabel('t (s)')
ylabel('T_r_x_n ( ^oC)')
title(' ')

```

```

y3data = iddata(y3,u,ts);
y3data = detrend(y3data,0);
model3 = pem(y3data,modeltype, 'InitialState', 'auto');
model3
figure(3)
compare(y3data,model3)
legend('Location', 'Best')
xlabel('t (s)')
ylabel('T_b_o_t ( ^oC)')
title(' ')

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Model Predictive Control %%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% MPC Model Formulation and Linearization %%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Nonlinearity of the Model %%%%%%%%%%%%%%

```

```

nnet = feedforwardnet([9 9]);
nnet.layers{1}.transferFcn = 'tansig';
nnet.layers{2}.transferFcn = 'tansig';
nnet.layers{3}.transferFcn = 'purelin';
nnet.trainParam.showWindow = 0;
nnet.trainParam.showCommandLine = 1;
nonlinearity = neuralnet(nnet);

```

```

nndata = xlsread('nndata.xls');
dsample = 5;
lf = 2;

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Top Section %%%%%%%%%%%%%%

```

```

unnrtop = nndata(:,1);
ynrtop = nndata(:,4);
etopdata = iddata(ynrtop,unnrtop,ts);
vrtopdata = iddata(ynrtop,unnrtop,ts);
NNrtop = struc(1:10,1:10,1:10);
[rtop,Vrtop] = selstruc(arxstruc(etopdata(:,:,1),vrtopdata(:,:,1),NNrtop),
'aic');
order = [rtop(1) rtop(2) rtop(3)];
nlmodelrtop = nlarx(etopdata,order,nonlinearity);
[ysteprtop tsteprtop] = step(nlmodelrtop);
topdsample = dsample;
[Ttopss,utopss] = findop(nlmodelrtop,'steady',1,NaN);
lmodelrtop = linearize(nlmodelrtop,utopss,Ttopss);
ldmodelrtop = lmodelrtop;
lcmodelrtop = d2c(lmodelrtop,'tustin');

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Reaction Section %%%%%%%%%%%%%%

```

```

unnrxn = nndata(:,2);
ynnrxn = nndata(:,5);
erxndata = iddata(ynnrxn,unnrxn,ts);
vrxndata = iddata(ynnrxn,unnrxn,ts);
NNrxn = struc(1:10,1:10,1:10);
[nrxn,Vmrxn] = selstruc(arxstruc(erxndata(:,:,1),vrxndata(:,:,1),NNrxn),
'aic');
order = [nrxn(1) nrxn(2) nrxn(3)];
nlmodelrxn = nlarx(erxndata,order,nonlinearity);
[ysteprxn tsteprxn] = step(nlmodelrxn);
rxndsampl = dsample;
[Trxnss,urxnss] = findop(nlmodelrxn,'steady',1,NaN);
lmodelrxn = linearize(nlmodelrxn,urxnss,Trxnss);
ldmodelrxn = lmodelrxn;
lcmodelrxn = d2c(lmodelrxn,'tustin');

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Bottom Section %%%%%%%%%%%%%%

```

```

unnbot = nndata(:,3);
ynnbot = nndata(:,6);
ebotdata = iddata(ynnbot,unnbot,ts);

```

```

vbotdata = iddata(ynnbot,unnnbot,ts);
NNbot = struc(1:10,1:10,1:10);
[nbot,vmbot] = selstruc(arxstruc(ebotdata(:, :, 1),vbotdata(:, :, 1),NNbot),
'aic');
order = [nbot(1) nbot(2) nbot(3)];
nlmodelbot = nlarx(ebotdata,order,nonlinearity);
[ystepbot tstepbot] = step(nlmodelbot);
botdsample = dsample;
[Tbotss,ubotss] = findop(nlmodelbot,'steady',1,NaN);
lmodelbot = linearize(nlmodelbot,ubotss,Tbotss);
ldmodelbot = lmodelbot;
lcmodelbot = d2c(lmodelbot,'tustin');

figure(1)
compare(etopdata,nlmodeltop)
figure(2)
compare(ernxdata,nlmodelrxn)
figure(3)
compare(ebotdata,nlmodelbot)
figure(4)
step(nlmodeltop)
figure(5)
step(nlmodelrxn)
figure(6)
step(nlmodelbot)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Servo MPC Controller %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
ph = 11;
ch = 6;
w11 = 0.0;      w12 = 0.09;      w13 = 1;
w21 = 0.0;      w22 = 0.015;     w23 = 0.95;
w31 = 0.0;      w32 = 0.075;     w33 = 0.9;
weights1 =
struct('ManipulatedVariables',w11,'ManipulatedVariablesRate',w12,'OutputVariables',w13);
mv1 = struct('Min',-2.5,'Max',2.5,'RateMin',-5,'RateMax',5,'Units','');
ov1 = struct('Min',-Inf,'Max',Inf,'RateMin',-Inf,'RateMax',Inf,'Units','^oC');
SMPC1 = mpc(ldmodeltop,ts,ph,ch,weights1,mv1,ov1);
weights2 =
struct('ManipulatedVariables',w21,'ManipulatedVariablesRate',w22,'OutputVariables',w23);
mv2 = struct('Min',-1,'Max',1,'RateMin',-3,'RateMax',3,'Units','');
ov2 = struct('Min',-Inf,'Max',Inf,'RateMin',-Inf,'RateMax',Inf,'Units','^oC');
SMPC2 = mpc(ldmodelrxn,ts,ph,ch,weights2,mv2,ov2);
weights3 =
struct('ManipulatedVariables',w31,'ManipulatedVariablesRate',w32,'OutputVariables',w33);
mv3 = struct('Min',-0.49,'Max',0.63,'RateMin',-4,'RateMax',4,'Units','kJ/s');
ov3 = struct('Min',-Inf,'Max',Inf,'RateMin',-Inf,'RateMax',Inf,'Units','^oC');
SMPC3 = mpc(ldmodelbot,ts,ph,ch,weights3,mv3,ov3);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
tsimsdmpc = 3600;
tsimsmpc = 3600;
tsimspidc = 12;
tsimrdmpc = 9500;
tsimrmpc = 457;
tsimrpdc = 12;

Ttopssv = Ttopss(1);
Trxnssv = Trxnss(1);

```

```
Tbotssv = Tbotss(1);
utopssv = 3;
urxnssv = 2;
ubotssv = 0.69;
dt = 1;
tstep = 0;
```

```
utopvalue = 0;
urxnvalue = 0;
ubotvalue = 0.05;
```

```
%%%%%%%%%% Servo DMPC %%%%%%%%%%
%%%%%%%%%% Decouplers %%%%%%%%%%
```

```
Ks = [model1.Kp.value(1) model1.Kp.value(2) model1.Kp.value(3)
      model2.Kp.value(1) model2.Kp.value(2) model2.Kp.value(3)
      model3.Kp.value(1) model3.Kp.value(2) model3.Kp.value(3)];
```

```
%%%%%%%%%% Static Decouplers with Inverse of K %%%%%%%%%%
```

```
KIs = inv(Ks);
GIstcs = KIs;
ki11s = GIstcs(1,1);
ki12s = GIstcs(1,2);
ki13s = GIstcs(1,3);
ki21s = GIstcs(2,1);
ki22s = GIstcs(2,2);
ki23s = GIstcs(2,3);
ki31s = GIstcs(3,1);
ki32s = GIstcs(3,2);
ki33s = GIstcs(3,3);
```

```
gi11nums = ki11s;
gi11dens = 1;
gi12nums = ki12s;
gi12dens = 1;
gi13nums = ki13s;
gi13dens = 1;
gi21nums = ki21s;
gi21dens = 1;
gi22nums = ki22s;
gi22dens = 1;
gi23nums = ki23s;
gi23dens = 1;
gi31nums = ki31s;
gi31dens = 1;
gi32nums = ki32s;
gi32dens = 1;
gi33nums = ki33s;
gi33dens = 1;
```

```
%% %% %% Static Decouplers with Static Gains %%%%%%%%%%
```

```
%% %% %% Krs = eye(3).*Ks;
```

```
%% %% %% GIstcs = Ks\Krs;
```

```
%% %% %
```

```
%% %% % ki11s = GIstcs(1,1);
```

```
%% %% % ki12s = GIstcs(1,2);
```

```
%% %% % ki13s = GIstcs(1,3);
```

```
%% %% % ki21s = GIstcs(2,1);
```

```
%% %% % ki22s = GIstcs(2,2);
```

```
%% %% % ki23s = GIstcs(2,3);
```

```
%% %% % ki31s = GIstcs(3,1);
```

```
%% %% % ki32s = GIstcs(3,2);
```

```
%% %% % ki33s = GIstcs(3,3);
```

```
%% %% %
```

```
%% %% % gi11nums = ki11s;
```

```

% % % % gi11dens = 1;
% % % % gi12nums = ki12s;
% % % % gi12dens = 1;
% % % % gi13nums = ki13s;
% % % % gi13dens = 1;
% % % % gi21nums = ki21s;
% % % % gi21dens = 1;
% % % % gi22nums = ki22s;
% % % % gi22dens = 1;
% % % % gi23nums = ki23s;
% % % % gi23dens = 1;
% % % % gi31nums = ki31s;
% % % % gi31dens = 1;
% % % % gi32nums = ki32s;
% % % % gi32dens = 1;
% % % % gi33nums = ki33s;
% % % % gi33dens = 1;
% % % %
% % % % %%%%%%%%%% Dynamic Decouplers %%%%%%%%%%
% % % % Gps = [g11 g12 g13
% % % %           g21 g22 g23
% % % %           g31 g32 g33];
% % % % Gs = pade(Gps);
% % % % Grs = eye(3).*Gs;
% % % % GIdyns = Gs\Grs;
% % % %
% % % % gi11s = GIdyns(1,1);
% % % % gi12s = GIdyns(1,2);
% % % % gi13s = GIdyns(1,3);
% % % % gi21s = GIdyns(2,1);
% % % % gi22s = GIdyns(2,2);
% % % % gi23s = GIdyns(2,3);
% % % % gi31s = GIdyns(3,1);
% % % % gi32s = GIdyns(3,2);
% % % % gi33s = GIdyns(3,3);
% % % %
% % % % gi11nums = cell2mat(gi11s.num);
% % % % gi11dens = cell2mat(gi11s.den);
% % % % gi12nums = cell2mat(gi12s.num);
% % % % gi12dens = cell2mat(gi12s.den);
% % % % gi13nums = cell2mat(gi13s.num);
% % % % gi13dens = cell2mat(gi13s.den);
% % % % gi21nums = cell2mat(gi21s.num);
% % % % gi21dens = cell2mat(gi21s.den);
% % % % gi22nums = cell2mat(gi22s.num);
% % % % gi22dens = cell2mat(gi22s.den);
% % % % gi23nums = cell2mat(gi23s.num);
% % % % gi23dens = cell2mat(gi23s.den);
% % % % gi31nums = cell2mat(gi31s.num);
% % % % gi31dens = cell2mat(gi31s.den);
% % % % gi32nums = cell2mat(gi32s.num);
% % % % gi32dens = cell2mat(gi32s.den);
% % % % gi33nums = cell2mat(gi33s.num);
% % % % gi33dens = cell2mat(gi33s.den);
% % % %
% % % % %%%%%%%%%% UnDecoupled %%%%%%%%%%
% % % % gi11nums = 1;
% % % % gi11dens = 1;
% % % % gi12nums = 1;
% % % % gi12dens = 1;
% % % % gi13nums = 1;
% % % % gi13dens = 1;
% % % % gi21nums = 1;
% % % % gi21dens = 1;
% % % % gi22nums = 1;

```

```
% % % % gi22dens = 1;
% % % % gi23nums = 1;
% % % % gi23dens = 1;
% % % % gi31nums = 1;
% % % % gi31dens = 1;
% % % % gi32nums = 1;
% % % % gi32dens = 1;
% % % % gi33nums = 1;
% % % % gi33dens = 1;
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Servo Simulations %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Ttopspss = 70.75 - Ttopssv;
Trxnspss = 0.3;
Tbotspss = 0.0;
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Servo DMPC Simulations %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
open_system('ServoDMPCRPDC');
[tsdmpc xsdmpc ysdmpc] = sim('ServoDMPCRPDC', 0:dt:tsimsdmpc);
```

```
vtopsdmpc = abs(ysdmpc(:,1));
utopsdmpc = abs(ysdmpc(:,2));
Ttopsdmpc = ysdmpc(:,3);
Ttoprefsdmpc = ysdmpc(:,4);
IAEtopsdmpc = ysdmpc(:,5);
ISEtopsdmpc = ysdmpc(:,6);
```

```
vrxnsgdmpc = abs(ysdmpc(:,7));
urxnsgdmpc = abs(ysdmpc(:,8));
Trxnsgdmpc = ysdmpc(:,9);
Trxnrefsgdmpc = ysdmpc(:,10);
IAErnsgdmpc = ysdmpc(:,11);
ISErnsgdmpc = ysdmpc(:,12);
```

```
vbotsgdmpc = abs(ysdmpc(:,13));
ubotsgdmpc = abs(ysdmpc(:,14));
Tbotsgdmpc = ysdmpc(:,15);
Tbotrefsgdmpc = ysdmpc(:,16);
IAEbotsgdmpc = ysdmpc(:,17);
ISEbotsgdmpc = ysdmpc(:,18);
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Top Segment %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure1 = figure('Name', 'Servo Top DMPC', 'NumberTitle', 'Off', 'PaperType',
'A4', 'PaperPositionMode', 'manual', 'PaperUnits','centimeters',
'PaperPosition',[pleft pbottom pwidth pheight], 'Position',
get(0,'Screensize'));
axes1 = axes('Parent', figure1, 'position',[aleft abottom+1*(aheight+amiddle)
awidth ugh*aheight], 'FontName','Times New Roman', 'FontSize', 12);
hold(axes1, 'all')
plot(tsdmpc,Ttopsdmpc, tsdmpc,Ttoprefsdmpc)
legend('Ayrımlı MPC', 'Set Noktası', 'Location', 'South')
xlabel('t (s)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
ylabel('T_ü_s_t ( ^oC)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
axis([0 length(tsdmpc) min([Ttopsdmpc;Ttoprefsdmpc])-
0.001*min([Ttopsdmpc;Ttoprefsdmpc])
max([Ttopsdmpc;Ttoprefsdmpc])+0.0005*max([Ttopsdmpc;Ttoprefsdmpc])])
box on
shg
```

```
axes1 = axes('Parent', figure1, 'position',[aleft abottom+0*(aheight+amiddle)
awidth aheight], 'FontName','Times New Roman', 'FontSize', 12);
hold(axes1, 'all')
stairs(tsdmpc,utopsdmpc,'color',[0.13, 0.83, 0.50])
```

```

xlabel('t (s)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
ylabel('R', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
axis([0 length(tsdmpc) min(utopsdmpc)-0.00005*min(utopsdmpc)
max(utopsdmpc)+0.0001*max(utopsdmpc)])
box on
shg

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Reaction Segment %%%%%%%%%%
figure1 = figure('Name', 'Servo Reaction DMPC', 'NumberTitle', 'Off',
'PaperType', 'A4', 'PaperPositionMode', 'manual', 'PaperUnits', 'centimeters',
'PaperPosition', [pleft pbottom pwidth pheight], 'Position',
get(0, 'Screensize'));
axes1 = axes('Parent', figure1, 'position', [aleft abottom+1*(aheight+amiddle)
awidth ugh*aheight], 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12);
hold(axes1, 'all')
plot(tsdmpc, Trxnsdmpc, tsdmpc, Trxnrefsdmpc)
legend('Ayrımlı MPC', 'Set Noktası', 'Location', 'South')
xlabel('t (s)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
ylabel('T_t_e_p ( ^oC)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
axis([0 length(tsdmpc) min([Trxnsdmpc;Trxnrefsdmpc])-
0.001*min([Trxnsdmpc;Trxnrefsdmpc])
max([Trxnsdmpc;Trxnrefsdmpc])+0.0005*max([Trxnsdmpc;Trxnrefsdmpc])])
box on
shg

axes1 = axes('Parent', figure1, 'position', [aleft abottom+0*(aheight+amiddle)
awidth aheight], 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12);
hold(axes1, 'all')
stairs(tsdmpc, urxnsdmpc, 'color', [0.01, 0.38, 0.66])
xlabel('t (s)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
ylabel('F', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
axis([0 length(tsdmpc) min(urxnsdmpc)-0.00005*min(urxnsdmpc)
max(urxnsdmpc)+0.01*max(urxnsdmpc)])
box on
shg

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Servo MPC Simulations %%%%%%%%%%
open_system('ServoMPCRPDC');
[tsmpc xsmpc ysmpc] = sim('ServoMPCRPDC', [0 tsimsmpc]);

vtopsmpc = abs(ysmpc(:,1));
utopsmpc = abs(ysmpc(:,2));
Ttopsmpc = ysmpc(:,3);
Ttoprefsmpc = ysmpc(:,4);
IAEtopsmpc = ysmpc(:,5);
ISEtopsmpc = ysmpc(:,6);

vrxnsmpc = abs(ysmpc(:,7));
urxnsmpc = abs(ysmpc(:,8));
Trxnsmpc = ysmpc(:,9);
Trxnrefsmpc = ysmpc(:,10);
IAErxnsmpc = ysmpc(:,11);
ISErxnsmpc = ysmpc(:,12);

vbotsmpc = abs(ysmpc(:,13));
ubotsmpc = abs(ysmpc(:,14));
Tbotsmpc = ysmpc(:,15);
Tbotrefsmpc = ysmpc(:,16);
IAEbotsmpc = ysmpc(:,17);
ISEbotsmpc = ysmpc(:,18);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Top Segment %%%%%%%%%%

```

```

figure1 = figure('Name', 'Servo Top MPC', 'NumberTitle', 'Off', 'PaperType',
'A4', 'PaperPositionMode', 'manual', 'PaperUnits','centimeters',
'PaperPosition',[pleft pbottom pwidth pheight], 'Position',
get(0,'Screensize'));
axes1 = axes('Parent', figure1, 'position',[aleft abottom+1*(aheight+amiddle)
awidth ugh*aheight], 'FontName','Times New Roman', 'FontSize', 12);
hold(axes1, 'all')
plot(tsmc,Ttopsmc,tsmc,Ttoprefsmc)
legend('Ayrımsız MPC', 'Set Noktası', 'Location', 'South')
xlabel('t (s)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
ylabel('Tü_s_t ( °C)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
axis([0 length(tsmc) min([Ttopsmc;Ttoprefsmc])-
0.001*min([Ttopsmc;Ttoprefsmc])
max([Ttopsmc;Ttoprefsmc])+0.5*max([Ttopsmc;Ttoprefsmc])])
box on
shg

```

```

axes1 = axes('Parent', figure1, 'position',[aleft abottom+0*(aheight+amiddle)
awidth aheight], 'FontName','Times New Roman', 'FontSize', 12);
hold(axes1, 'all')
stairs(tsmc,utopsmc,'color',[0.13, 0.83, 0.50])
xlabel('t (s)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
ylabel('R', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
axis([0 length(tsmc) min(utopsmc)-0.00005*min(utopsmc)
max(utopsmc)+0.0001*max(utopsmc)])
box on
shg

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Reaction Segment %%%%%%%%%%%%%%
figure1 = figure('Name', 'Servo Reaction MPC', 'NumberTitle', 'Off',
'PaperType', 'A4', 'PaperPositionMode', 'manual', 'PaperUnits','centimeters',
'PaperPosition',[pleft pbottom pwidth pheight], 'Position',
get(0,'Screensize'));
axes1 = axes('Parent', figure1, 'position',[aleft abottom+1*(aheight+amiddle)
awidth ugh*aheight], 'FontName','Times New Roman', 'FontSize', 12);
hold(axes1, 'all')
plot(tsmc,Trxnsmpc,tsmc,Trxnrefsmc)
legend('Ayrımsız MPC', 'Set Noktası', 'Location', 'South')
xlabel('t (s)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
ylabel('Tt_e_p ( °C)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
axis([0 length(tsmc) min([Trxnsmpc;Trxnrefsmc])-
0.001*min([Trxnsmpc;Trxnrefsmc])
max([Trxnsmpc;Trxnrefsmc])+5*max([Trxnsmpc;Trxnrefsmc])])
box on
shg

```

```

axes1 = axes('Parent', figure1, 'position',[aleft abottom+0*(aheight+amiddle)
awidth aheight], 'FontName','Times New Roman', 'FontSize', 12);
hold(axes1, 'all')
stairs(tsmc,urxnsmpc,'color',[0.01, 0.38, 0.66])
xlabel('t (s)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
ylabel('F', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
axis([0 length(tsmc) min(urxnsmpc)-0.00005*min(urxnsmpc)
max(urxnsmpc)+0.01*max(urxnsmpc)])
box on
shg

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Proportional-Integral-Derivative Control %%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Controller's Tuning Models %%%%%%%%%%%%%%
nndata = xlsread('nndata.xls');
cmodeltype = idproc({'P1D'});

utop = nndata(:,1);
ytop = nndata(:,4);

```

```

topdata = iddata(ytop,utop,ts);
% % % % % topdata = detrend(topdata,0);
topmodel = pem(topdata,cmodeltype,'InitialState','auto');
topmodel
figure(4)
compare(topdata,topmodel)
legend('Location','Best')
xlabel('t (s)')
ylabel('T_t_o_p ( ^oC)')
title(' ')

```

```

urxn = nndata(:,2);
yrxn = nndata(:,5);
rxndata = iddata(yrxn,urxn,ts);
% % % % % rxndata = detrend(rxndata,0);
rxnmodel = pem(rxndata,cmodeltype,'InitialState','auto');
rxnmodel
figure(5)
compare(rxndata,rxnmodel)
legend('Location','Best')
xlabel('t (s)')
ylabel('T_t_o_p ( ^oC)')
title(' ')

```

```

ubot = nndata(:,3);
ybot = nndata(:,6);
botdata = iddata(ybot,ubot,ts);
% % % % % botdata = detrend(botdata,0);
botmodel = pem(botdata,cmodeltype,'InitialState','auto');
botmodel
figure(6)
compare(botdata,botmodel)
legend('Location','Best')
xlabel('t (s)')
ylabel('T_t_o_p ( ^oC)')
title(' ')

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Servo PIDC Simulations %%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Cohen-Coon Method %%%%%%%%%%%

```

```

Kp1 = topmodel.Kp.value(1);
T1 = topmodel.Tp1.value(1)/stm;
Td1 = topmodel.Td.value(1)/stm;
kc1 = 1/Kp1 * T1/Td1 * (4/3 + Td1/(4*T1));
tauI1 = Td1 * (32 + 6 * Td1/T1)/(13 + 8 * Td1/T1);
tauD1 = Td1 * 4/(11 + 2 * (Td1/T1));
P1 = kc1;
I1 = kc1/tauI1;
D1 = kc1*tauD1;

```

```

Kp2 = rxnmodel.Kp.value(1);
T2 = rxnmodel.Tp1.value(1)/stm;
Td2 = rxnmodel.Td.value(1)/stm;
kc2 = 1/Kp2 * T2/Td2 * (4/3 + Td2/(4*T2));
tauI2 = Td2 * (32 + 6 * Td2/T2)/(13 + 8 * Td2/T2);
tauD2 = Td2 * 4/(11 + 2 * (Td2/T2));
P2 = kc2;
I2 = kc2/tauI2;
D2 = kc2*tauD2;

```

```

Kp3 = botmodel.Kp.value(1);
T3 = botmodel.Tp1.value(1)/stm;
Td3 = botmodel.Td.value(1)/stm;
kc3 = 1/Kp3 * T3/Td3 * (4/3 + Td3/(4*T3));
tauI3 = Td3 * (32 + 6 * Td3/T3)/(13 + 8 * Td3/T3);

```

```

tauD3 = Td3 * 4/(11 + 2 * (Td3/T3));
P3 = kc3;
I3 = kc3/tauI3;
D3 = kc3*tauD3;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Simulations %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
tstep = tstep/stm;
tsimspidc = tsimspidc/stm;
open_system('ServoPIDCRPDC');
[tspidc xspidc yspidc] = sim('ServoPIDCRPDC', 0:dt/stm:tsimspidc);

vtopspidc = abs(yspidc(:,1));
utopspidc = abs(yspidc(:,2));
Ttopspidc = yspidc(:,3);
Ttoprefspidc = yspidc(:,4);
IAEtopspidc = yspidc(:,5);
ISEtopspidc = yspidc(:,6);

vrxnspidc = abs(yspidc(:,7));
urxnspidc = abs(yspidc(:,8));
Trxnspidc = yspidc(:,9);
Trxnrefspidc = yspidc(:,10);
IAErnxspidc = yspidc(:,11);
ISErnxspidc = yspidc(:,12);

vbotspidc = abs(yspidc(:,13));
ubotspidc = abs(yspidc(:,14));
Tbotspidc = yspidc(:,15);
Tbotrefspidc = yspidc(:,16);
IAEbotspidc = yspidc(:,17);
ISEbotspidc = yspidc(:,18);

tspidcg = 1;
tspidc = tspidc(1:tspidcg:length(tspidc),1)*stm;
Ttopspidc = Ttopspidc(1:tspidcg:length(Ttopspidc),1);
Trxnspidc = Trxnspidc(1:tspidcg:length(Trxnspidc),1);
Tbotspidc = Tbotspidc(1:tspidcg:length(Tbotspidc),1);
utopspidc = utopspidc(1:tspidcg:length(utopspidc),1);
urxnspidc = urxnspidc(1:tspidcg:length(urxnspidc),1);
ubotspidc = ubotspidc(1:tspidcg:length(ubotspidc),1);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Top Segment %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure1 = figure('Name', 'Servo Top PIDC', 'NumberTitle', 'Off', 'PaperType',
'A4', 'PaperPositionMode', 'manual', 'PaperUnits', 'centimeters',
'PaperPosition', [pleft pbottom pwidth pheight], 'Position',
get(0, 'Screensize'));
axes1 = axes('Parent', figure1, 'position', [aleft abottom+1*(aheight+amiddle)
awidth ugh*aheight], 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12);
hold(axes1, 'all')
plot(tspidc, Ttopspidc, tspidc, Ttoprefspidc)
legend('Ayrımsız PIDC', 'Set Noktası', 'Location', 'South')
xlabel('t (s)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
ylabel('T_ü_s_t ( ^oC)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
axis([0 length(tspidc) min([Ttopspidc;Ttoprefspidc])-
0.001*min([Ttopspidc;Ttoprefspidc])
max([Ttopspidc;Ttoprefspidc])+0.0005*max([Ttopspidc;Ttoprefspidc])])
box on
shg

axes1 = axes('Parent', figure1, 'position', [aleft abottom+0*(aheight+amiddle)
awidth aheight], 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12);
hold(axes1, 'all')
stairs(tspidc, utopspidc, 'color', [0.13, 0.83, 0.50])

```

```

xlabel('t (s)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
ylabel('R', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
axis([0 length(tspidc) min(utopspidc)-0.00005*min(utopspidc)
max(utopspidc)+0.0001*max(utopspidc)])
box on
shg

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Reaction Segment %%%%%%%%%%
figure1 = figure('Name', 'Servo Reaction PIDC', 'NumberTitle', 'Off',
'PaperType', 'A4', 'PaperPositionMode', 'manual', 'PaperUnits', 'centimeters',
'PaperPosition', [pleft pbottom pwidth pheight], 'Position',
get(0, 'Screensize'));
axes1 = axes('Parent', figure1, 'position', [aleft abottom+1*(aheight+amiddle)
awidth aheight], 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12);
hold(axes1, 'all')
plot(tspidc, Trxnspidc, tspidc, Trxnrefspidc)
legend('Ayrımsız PIDC', 'Set Noktası', 'Location', 'South')
xlabel('t (s)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
ylabel('T_t_e_p ( ^oC)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
axis([0 length(tspidc) min([Trxnspidc;Trxnrefspidc])-
0.001*min([Trxnspidc;Trxnrefspidc])
max([Trxnspidc;Trxnrefspidc])+0.0005*max([Trxnspidc;Trxnrefspidc])])
box on
shg

axes1 = axes('Parent', figure1, 'position', [aleft abottom+0*(aheight+amiddle)
awidth aheight], 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12);
hold(axes1, 'all')
stairs(tspidc, urxnspidc, 'color', [0.01, 0.38, 0.66])
xlabel('t (s)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
ylabel('F', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
axis([0 length(tspidc) min(urxnspidc)-0.00005*min(urxnspidc)
max(urxnspidc)+0.01*max(urxnspidc)])
box on
shg

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Regulatory Control Simulation %%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Regulatory DMPC %%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Decouplers %%%%%%%%%%
Kr = [model1.Kp.value(1) model1.Kp.value(2)
      model2.Kp.value(1) model2.Kp.value(2)];

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Static Decouplers with Inverse of K %%%%%%%%%%
KIr = inv(Kr);
GIstcr = KIr;
ki11r = GIstcr(1,1);
ki12r = GIstcr(1,2);
ki21r = GIstcr(2,1);
ki22r = GIstcr(2,2);

gi11numr = ki11r;
gi11denr = 1;
gi12numr = ki12r;
gi12denr = 1;
gi21numr = ki21r;
gi21denr = 1;
gi22numr = ki22r;
gi22denr = 1;

% % % % %%%%%%%%% Static Decouplers with Static Gains %%%%%%%%%
% % % % Krr = eye(2).*Kr;
% % % % GIstcr = Kr\Krr;
% % % %

```

```

% % % % ki11r = GIstcr(1,1);
% % % % ki12r = GIstcr(1,2);
% % % % ki21r = GIstcr(2,1);
% % % % ki22r = GIstcr(2,2);
% % % %
% % % % gi11numr = ki11r;
% % % % gi11denr = 1;
% % % % gi12numr = ki12r;
% % % % gi12denr = 1;
% % % % gi21numr = ki21r;
% % % % gi21denr = 1;
% % % % gi22numr = ki22r;
% % % % gi22denr = 1;
% % % %
% % % % %%%%%%%%%% Dynamic Decouplers %%%%%%%%%%
% % % % Gpr = [g11 g12
% % % %           g21 g22];
% % % % Gr = pade(Gpr);
% % % % Grr = eye(2).*Gr;
% % % % GIdynr = Gr\Grr;
% % % %
% % % % gi11r = GIdynr(1,1);
% % % % gi12r = GIdynr(1,2);
% % % % gi21r = GIdynr(2,1);
% % % % gi22r = GIdynr(2,2);
% % % %
% % % % gi11numr = cell2mat(gi11r.num);
% % % % gi11denr = cell2mat(gi11r.den);
% % % % gi12numr = cell2mat(gi12r.num);
% % % % gi12denr = cell2mat(gi12r.den);
% % % % gi21numr = cell2mat(gi21r.num);
% % % % gi21denr = cell2mat(gi21r.den);
% % % % gi22numr = cell2mat(gi22r.num);
% % % % gi22denr = cell2mat(gi22r.den);
% % % %
% % % % %%%%%%%%%% Undecoupled %%%%%%%%%%
% % % % gi11numr = 1;
% % % % gi11denr = 1;
% % % % gi12numr = 1;
% % % % gi12denr = 1;
% % % % gi21numr = 1;
% % % % gi21denr = 1;
% % % % gi22numr = 1;
% % % % gi22denr = 1;

%%%%%%%%%%%% Controller %%%%%%%%%%%%%
ph = 11;
ch = 6;
w11 = 0.0;      w12 = 0.09;      w13 = 1;
w21 = 0.0;      w22 = 0.015;     w23 = 0.95;
weights1 =
struct('ManipulatedVariables',w11,'ManipulatedVariablesRate',w12,'OutputVariables',w13);
mv1 = struct('Min',-Inf,'Max', Inf,'RateMin',-Inf,'RateMax',Inf,'Units','');
ov1 = struct('Min',-Inf,'Max', Inf,'RateMin',-
Inf,'RateMax',Inf,'Units','^oC');
RMPC1 = mpc(ldmodeltop,ts,ph,ch,weights1,mv1,ov1);
weights2 =
struct('ManipulatedVariables',w21,'ManipulatedVariablesRate',w22,'OutputVariables',w23);
mv2 = struct('Min',-Inf,'Max', Inf,'RateMin',-Inf,'RateMax',Inf,'Units','');
ov2 = struct('Min',-Inf,'Max', Inf,'RateMin',-
Inf,'RateMax',Inf,'Units','^oC');
RMPC2 = mpc(ldmodelrxn,ts,ph,ch,weights2,mv2,ov2);

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Simulations %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Ttopspr = 70.75 - Ttopssv;
Trxnspr = Trxnss(1) - Trxnss(1);
Tbotdist = 1;
tdist = 30;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Regulatory DMPC Simulations %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
open_system('RegulatoryDMPCRPDC');
[trdmpc xrdmpc yrdmpc] = sim('RegulatoryDMPCRPDC', 0:dt:tsimrdmpc);

vtoprdmpc = abs(yrdmpc(:,1));
utoprdmpc = abs(yrdmpc(:,2));
Ttoprdmpc = yrdmpc(:,3);
Ttoprefrdmpc = yrdmpc(:,4);
IAEtoprdmpc = yrdmpc(:,5);
ISEtoprdmpc = yrdmpc(:,6);

vrxnrdmpc = abs(yrdmpc(:,7));
urxnrdmpc = abs(yrdmpc(:,8));
Trxnrdmpc = yrdmpc(:,9);
Trxnrefrdmpc = yrdmpc(:,10);
IAErxnrdmpc = yrdmpc(:,11);
ISErxnrdmpc = yrdmpc(:,12);

open_system('OpenLoopRPDC');
[tolrdmpc xolrdmpc yolrdmpc] = sim('OpenLoopRPDC', 0:dt:tsimrdmpc);

utopolrdmpc = yolrdmpc(:,1);
Ttopolrdmpc = yolrdmpc(:,2);
urxnolrdmpc = yolrdmpc(:,3);
Trxnolrdmpc = yolrdmpc(:,4);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Top Segment %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure1 = figure('Name', 'Regulatory Top DMPC', 'NumberTitle', 'Off',
'PaperType', 'A4', 'PaperPositionMode', 'manual', 'PaperUnits', 'centimeters',
'PaperPosition', [pleft pbottom pwidth pheight], 'Position',
get(0, 'Screensize'));
axes1 = axes('Parent', figure1, 'position', [aleft abottom+1*(aheight+amiddle)
awidth ugh*aheight], 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12);
hold(axes1, 'all')
plot(tolrdmpc, Ttopolrdmpc, 'color', [1.00, 0.40, 0.70])
hold on
plot(trdmpc, Ttoprdmpc, 'color', [0.00 0.00 1.00])
hold on
plot(trdmpc, Ttoprefrdmpc, 'color', [0.00 0.498 0.00])
legend('Açık döngü', 'Ayırılmış MPC', 'Set Noktası', 'Location', 'South')
xlabel('t (s)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
ylabel('T_ü_s_t ( ^oC)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
axis([0 length(trdmpc) min([Ttopolrdmpc;Ttoprdmpc;Ttoprefrdmpc])-
0.001*min([Ttopolrdmpc;Ttoprdmpc;Ttoprefrdmpc])
max([Ttopolrdmpc;Ttoprdmpc;Ttoprefrdmpc])+0.05*max([Ttopolrdmpc;Ttoprdmpc;Ttop
refrdmpc])])
box on
shg

axes1 = axes('Parent', figure1, 'position', [aleft abottom+0*(aheight+amiddle)
awidth aheight], 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12);
hold(axes1, 'all')
stairs(trdmpc, utoprdmpc, 'color', [0.13, 0.83, 0.50])
xlabel('t (s)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
ylabel('R', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
axis([0 length(trdmpc) min(utoprdmpc)-0.00005*min(utoprdmpc)
max(utoprdmpc)+0.0001*max(utoprdmpc)])

```

```

box on
shg

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Reaction Segment %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure1 = figure('Name', 'Regulatory Reaction DMPC', 'NumberTitle', 'Off',
'PaperType', 'A4', 'PaperPositionMode', 'manual', 'PaperUnits', 'centimeters',
'PaperPosition', [pleft pbottom pwidth pheight], 'Position',
get(0, 'Screensize'));
axes1 = axes('Parent', figure1, 'position', [aleft abottom+1*(aheight+amiddle)
awidth ugh*aheight], 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12);
hold(axes1, 'all')
plot(tolrdmpc, Trxnolrdmpc, 'color', [1.00, 0.40, 0.70])
hold on
plot(trdmpc, Trxnrdmpc, 'color', [0.00 0.00 1.00])
hold on
plot(trdmpc, Trxnrefrdmpc, 'color', [0.00 0.498 0.00])
legend('Açık döngü', 'Ayırılmış MPC', 'Set Noktası', 'Location', 'North')
xlabel('t (s)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
ylabel('T_t_e_p ( ^oC)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
axis([0 length(trdmpc) min([Trxnolrdmpc;Trxnrdmpc;Trxnrefrdmpc])-
0.001*min([Ttopolrdmpc;Trxnrdmpc;Trxnrefrdmpc])
0.001*min([Ttopolrdmpc;Trxnrdmpc;Trxnrefrdmpc])+0.0005*max([Ttopolrdmpc;Trxnrdmpc;Tr
xnrefrdmpc])])
box on
shg

```

```

axes1 = axes('Parent', figure1, 'position', [aleft abottom+0*(aheight+amiddle)
awidth aheight], 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12);
hold(axes1, 'all')
stairs(trdmpc, urxnrdmpc, 'color', [0.01, 0.38, 0.66])
xlabel('t (s)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
ylabel('F', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
axis([0 length(trdmpc) min(urxnrdmpc)-0.00005*min(urxnrdmpc)
max(urxnrdmpc)+0.01*max(urxnrdmpc)])
box on
shg

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Regulatory MPC Simulations %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
open_system('RegulatoryMPCRPDC');
[trmpc xrmpc yrmpc] = sim('RegulatoryMPCRPDC', 0:dt:tsimrmpc);

```

```

vtoprmpc = abs(yrmpc(:,1));
utoprmpc = abs(yrmpc(:,2));
Ttoprmpc = yrmpc(:,3);
Ttoprefrmpc = yrmpc(:,4);
IAEtoprmpc = yrmpc(:,5);
ISEtoprmpc = yrmpc(:,6);

```

```

vrxnrmpc = abs(yrmpc(:,7));
urxnrmpc = abs(yrmpc(:,8));
Trxnrmpc = yrmpc(:,9);
Trxnrefrmpc = yrmpc(:,10);
IAErxnrmpc = yrmpc(:,11);
ISErxnrmpc = yrmpc(:,12);

```

```

open_system('OpenLoopRPDC');
[tolrmpc xolrmpc yolrmpc] = sim('OpenLoopRPDC', 0:dt:tsimrmpc);

```

```

utopolrmpc = yolrmpc(:,1);
Ttopolrmpc = yolrmpc(:,2);
urxnolrmpc = yolrmpc(:,3);
Trxnolrmpc = yolrmpc(:,4);

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Top Segment %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure1 = figure('Name', 'Regulatory Top MPC', 'NumberTitle', 'Off',
'PaperType', 'A4', 'PaperPositionMode', 'manual', 'PaperUnits', 'centimeters',
'PaperPosition', [pleft pbottom pwidth pheight], 'Position',
get(0, 'Screensize'));
axes1 = axes('Parent', figure1, 'position', [aleft abottom+1*(aheight+amiddle)
awidth ugh*aheight], 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12);
hold(axes1, 'all')
plot(tolrmipc, Ttopolrmipc, 'color', [1.00, 0.40, 0.70])
hold on
plot(trmipc, Ttoprmipc, 'color', [0.00 0.00 1.00])
hold on
plot(trmipc, Ttoprefrmipc, 'color', [0.00 0.498 0.00])
plot(tolrmipc, Ttopolrmipc, trmipc, Ttoprmipc, trmipc, Ttoprefrmipc)
legend('Açık döngü', 'Ayırimsız MPC', 'Set Noktası', 'Location', 'South')
xlabel('t (s)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
ylabel('T_ü_s_t ( ^oC)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
axis([0 length(trmipc) min([Ttopolrmipc;Ttoprmipc;Ttoprefrmipc])-
0.001*min([Ttopolrmipc;Ttoprmipc;Ttoprefrmipc])
max([Ttopolrmipc;Ttoprmipc;Ttoprefrmipc])+0.0005*max([Ttopolrmipc;Ttoprmipc;Ttopref
rmipc])])
box on
shg

```

```

axes1 = axes('Parent', figure1, 'position', [aleft abottom+0*(aheight+amiddle)
awidth aheight], 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12);
hold(axes1, 'all')
stairs(trmipc, utoprmipc, 'color', [0.13, 0.83, 0.50])
xlabel('t (s)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
ylabel('R', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
axis([0 length(trmipc) min(utoprmipc)-0.00005*min(utoprmipc)
max(utoprmipc)+0.0001*max(utoprmipc)])
box on
shg

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Reaction Segment %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure1 = figure('Name', 'Regulatory Reaction MPC', 'NumberTitle', 'Off',
'PaperType', 'A4', 'PaperPositionMode', 'manual', 'PaperUnits', 'centimeters',
'PaperPosition', [pleft pbottom pwidth pheight], 'Position',
get(0, 'Screensize'));
axes1 = axes('Parent', figure1, 'position', [aleft abottom+1*(aheight+amiddle)
awidth ugh*aheight], 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12);
hold(axes1, 'all')
plot(tolrmipc, Trxnolrmipc, 'color', [1.00, 0.40, 0.70])
hold on
plot(trmipc, Trxnrmipc, 'color', [0.00 0.00 1.00])
hold on
plot(trmipc, Trxnrefrmipc, 'color', [0.00 0.498 0.00])
plot(tolrmipc, Trxnolrmipc, trmipc, Trxnrmipc, trmipc, Trxnrefrmipc)
legend('Açık döngü', 'Ayırimsız MPC', 'Set Noktası', 'Location', 'South')
xlabel('t (s)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
ylabel('T_t_e_p ( ^oC)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
axis([0 length(trmipc) min([Trxnolrmipc;Trxnrmipc;Trxnrefrmipc])-
0.001*min([Ttopolrmipc;Trxnrmipc;Trxnrefrmipc])
max([Ttopolrmipc;Trxnrmipc;Trxnrefrmipc])+0.0005*max([Ttopolrmipc;Trxnrmipc;Trxnref
rmipc])])
box on
shg

```

```

axes1 = axes('Parent', figure1, 'position', [aleft abottom+0*(aheight+amiddle)
awidth aheight], 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12);
hold(axes1, 'all')
stairs(trmipc, urxnrmipc, 'color', [0.01, 0.38, 0.66])
xlabel('t (s)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)

```

```

ylabel('F', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
axis([0 length(trmpc) min(urxnrmprc)-0.00005*min(urxnrmprc)
max(urxnrmprc)+0.01*max(urxnrmprc)])
box on
shg

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Regulatory PIDC Simulations %%%%%%%%%%
tstep = tstep/stm;
tdist = tdist/stm;
tsimrpidc = tsimrpidc/stm;
open_system('RegulatoryPIDCRPDC');
[trpidc xrpdc yrpidc] = sim('RegulatoryPIDCRPDC', 0:dt/stm:tsimrpidc);

vtoprpidc = abs(yrpidc(:,1));
utoprpidc = abs(yrpidc(:,2));
Ttoprpidc = yrpidc(:,3);
Ttoprefrpidc = yrpidc(:,4);
IAEtoprpidc = yrpidc(:,5);
ISEtoprpidc = yrpidc(:,6);

vrxnrmprdc = abs(yrpidc(:,7));
urxnrmprdc = abs(yrpidc(:,8));
Trxnrmprdc = yrpidc(:,9);
Trxnrefrpidc = yrpidc(:,10);
IAErxnrmprdc = yrpidc(:,11);
ISErxnrmprdc = yrpidc(:,12);

open_system('OpenLoopRPDC');
[tolrpidc xolrpidc yolrpidc] = sim('OpenLoopRPDC', 0:dt:tsimrpidc);

utopolrpidc = yolrpidc(:,1);
Ttopolrpidc = yolrpidc(:,2);
urxnolrpidc = yolrpidc(:,3);
Trxnolrpidc = yolrpidc(:,4);

trpidcg = 1;
trpidc = trpidc(1:trpidcg:length(trpidc),1)*stm;
Ttoprpidc = Ttoprpidc(1:trpidcg:length(Ttoprpidc),1);
Trxnrmprdc = Trxnrmprdc(1:trpidcg:length(Trxnrmprdc),1);
utoprpidc = utoprpidc(1:trpidcg:length(utoprpidc),1);
urxnrmprdc = urxnrmprdc(1:trpidcg:length(urxnrmprdc),1);

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Top Segment %%%%%%%%%%
figure1 = figure('Name', 'Regulatory Top PIDC', 'NumberTitle', 'Off',
'PaperType', 'A4', 'PaperPositionMode', 'manual', 'PaperUnits', 'centimeters',
'PaperPosition',[pleft pbottom pwidth pheight], 'Position',
get(0,'Screensize'));
axes1 = axes('Parent', figure1, 'position',[aleft abottom+1*(aheight+amiddle)
awidth ugh*aheight], 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12);
hold(axes1, 'all')
plot(tolrpidc, Ttopolrpidc, 'color',[1.00, 0.40, 0.70])
hold on
plot(trpidc, Ttoprpidc, 'color',[0.00 0.00 1.00])
hold on
plot(trpidc, Ttoprefrpidc, 'color',[0.00 0.498 0.00])
plot(tolrpidc,Ttopolrpidc, trpidc,Ttoprpidc,trpidc,Ttoprefrpidc)
legend('Açık döngü', 'Ayırıklı PIDC', 'Set Noktası', 'Location', 'South')
xlabel('t (s)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
ylabel('T_ü_s_t ( ^oC)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
axis([0 length(trpidc)-1 min([Ttopolrpidc;Ttoprpidc;Ttoprefrpidc])-
0.001*min([Ttopolrpidc;Ttoprpidc;Ttoprefrpidc])
max([Ttopolrpidc;Ttoprpidc;Ttoprefrpidc])+0.0005*max([Ttopolrpidc;Ttoprpidc;Tt
oprefrpidc])])

```

```

box on
shg

```

```

axes1 = axes('Parent', figure1, 'position',[aleft abottom+0*(aheight+amiddle)
awidth aheight], 'FontName','Times New Roman', 'FontSize', 12);
hold(axes1, 'all')
stairs(trpidc,utoprpidc,'color',[0.13, 0.83, 0.50])
xlabel('t (s)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
ylabel('R', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
axis([0 length(trpidc)-1 min(utoprpidc)-0.00005*min(utoprpidc)
max(utoprpidc)+0.0001*max(utoprpidc)])
box on
shg

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Reaction Segment %%%%%%%%%%%%%%%
figure1 = figure('Name', 'Regulatory Reaction PIDC', 'NumberTitle', 'Off',
'PaperType', 'A4', 'PaperPositionMode', 'manual', 'PaperUnits','centimeters',
'PaperPosition',[pleft pbottom pwidth pheight], 'Position',
get(0,'Screensize'));
axes1 = axes('Parent', figure1, 'position',[aleft abottom+1*(aheight+amiddle)
awidth ugh*aheight], 'FontName','Times New Roman', 'FontSize', 12);
hold(axes1, 'all')
plot(tolrpidc, Trxnolrpidc, 'color',[1.00, 0.40, 0.70])
hold on
plot(trpidc, Trxnrpdc, 'color',[0.00 0.00 1.00])
hold on
plot(trpidc, Trxnrefrpidc, 'color',[0.00 0.498 0.00])
plot(tolrpidc, Trxnolrpidc, trpidc, Trxnrpdc, Trxnrefrpidc)
legend('Açık döngü', 'Ayrımlı PIDC', 'Set Noktası', 'Location', 'South')
xlabel('t (s)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
ylabel('T_t_e_p (°C)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
axis([0 length(trpidc)-1 min([Trxnolrpidc;Trxnrpdc;Trxnrefrpidc])-
0.001*min([Ttopolrpidc;Trxnrpdc;Trxnrefrpidc])
max([Ttopolrpidc;Trxnrpdc;Trxnrefrpidc])+0.0005*max([Ttopolrpidc;Trxnrpdc;Trxnrefrpidc])])
box on
shg

```

```

axes1 = axes('Parent', figure1, 'position',[aleft abottom+0*(aheight+amiddle)
awidth aheight], 'FontName','Times New Roman', 'FontSize', 12);
hold(axes1, 'all')
stairs(trpidc,urxnrpdc,'color',[0.01, 0.38, 0.66])
xlabel('t (s)', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
ylabel('F', 'FontName', 'Times New Roman', 'FontSize', 12)
axis([0 length(trpidc)-1 min(urxnrpdc)-0.005*min(urxnrpdc)
max(urxnrpdc)+0.01*max(urxnrpdc)])
box on
shg

```

```

spcriteria = [IAEtopsdmpc(end) IAErxnsdmpc(end) ISEtopsdmpc(end)
ISExnsdmpc(end)
IAEtopsmpc(end) IAErxnsmpc(end) ISEtopsmpc(end) ISExnsmpc(end)
IAEtopspdc(end) IAErxnspdc(end) ISEtopspdc(end)
ISExnspdc(end)];
rpcriteria = [IAEtoprdmpc(end) IAErxnrdmpc(end) ISEtoprdmpc(end)
ISExnrdmpc(end)
IAEtoprmpc(end) IAErxnrmpc(end) ISEtoprmpc(end) ISExnrmpc(end)
IAEtoprpdc(end) IAErxnrpdc(end) ISEtoprpdc(end)
ISExnrpdc(end)];

```

```

sHeading = {'Servo Control'};
rHeading = {'Regulatory Control'};
PerfHeading = {'IAE', ' ', 'ISE', ' '};
PerfTitle = {'Denetim Yöntemi', 'Tüst', 'Ttep', 'Tüst', 'Ttep'};

```

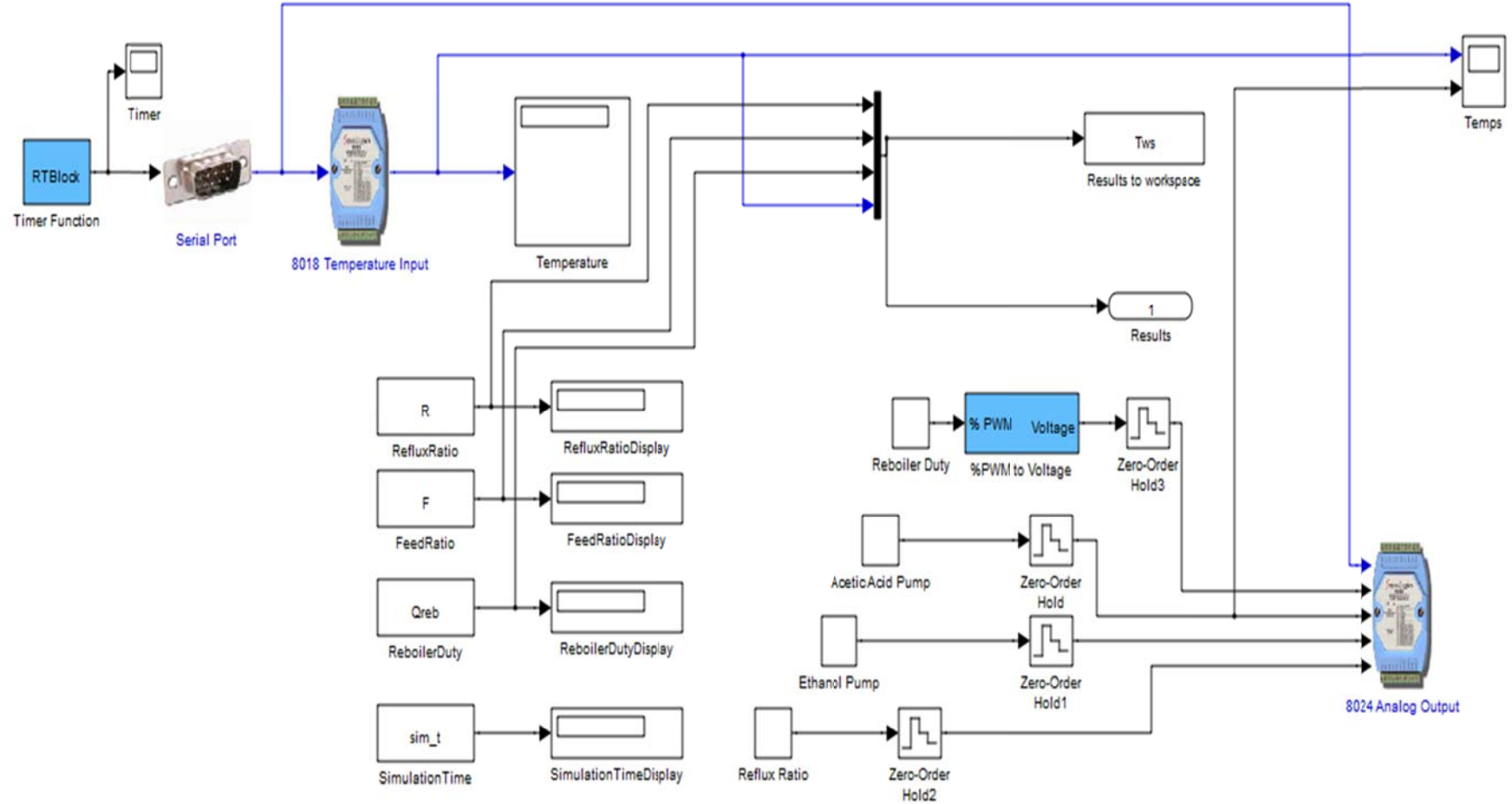
```

ControlMethod = {'DMPC', 'MPC', 'PIDC'};

xlswrite('TCResults', sHeading, 'Criteria', 'A1')
xlswrite('TCResults', PerfHeading, 'Criteria', 'B2')
xlswrite('TCResults', PerfTitle, 'Criteria', 'A3')
xlswrite('TCResults', ControlMethod, 'Criteria', 'A4')
xlswrite('TCResults', spcriteria, 'Criteria', 'B4')
xlswrite('TCResults', rHeading, 'Criteria', 'A11')
xlswrite('TCResults', PerfHeading, 'Criteria', 'B12')
xlswrite('TCResults', PerfTitle, 'Criteria', 'A13')
xlswrite('TCResults', ControlMethod, 'Criteria', 'A14')
xlswrite('TCResults', rpcriteria, 'Criteria', 'B14')

```

EK 6 Deneysel Kontrol Çalışması İçin Simulink Diyagramı



Şekil 1 Deneysel simulink algoritması

EK 7 Deneysel Kontrol Çalışması İçin MATLAB Kodları

Set noktası etkisi için

Ayrılmalı MPC

```
commandwindow
clear all
close all
clc
bdclose('all')

load('ServoRPDC')
clearvars -except model1 model2 model3 topmodel rxnmodel botmodel MPC1
MPC2 MPC3

K = [model1.Kp.value(1) model1.Kp.value(2) model1.Kp.value(3)
model2.Kp.value(1) model2.Kp.value(2) model2.Kp.value(3)
model3.Kp.value(1) model3.Kp.value(2) model3.Kp.value(3)];

KI = inv(K);
GIstc = KI;
ki11 = GIstc(1,1);
ki12 = GIstc(1,2);
ki13 = GIstc(1,3);
ki21 = GIstc(2,1);
ki22 = GIstc(2,2);
ki23 = GIstc(2,3);
ki31 = GIstc(3,1);
ki32 = GIstc(3,2);
ki33 = GIstc(3,3);

gi11num = ki11;
gi11den = 1;
gi12num = ki12;
gi12den = 1;
gi13num = ki13;
gi13den = 1;
gi21num = ki21;
gi21den = 1;
gi22num = ki22;
gi22den = 1;
gi23num = ki23;
gi23den = 1;
gi31num = ki31;
gi31den = 1;
gi32num = ki32;
gi32den = 1;
gi33num = ki33;
gi33den = 1;

stm = 60;
tstep = 0;
tstep = tstep/stm;
```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Simulink Models
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% open('InitializationModel');
% open('DynamicsModel');
% open('ControlModel');
% open('ServoMPCRPDCExp');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Simulations
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
tii = 0;
tfi = 1;
sim('InitializationModel', [tii tfi]);

signal_time = [0 1 2 3 4 5 6 7];
sim_t = 0;
ti = 0;
tf = 0;
iiter = 1;

Ttopss = 23.5400;
Ttopref = 70.7500;
Ttopsp = Ttopref - Ttopss;
Trxnss = 23.5400;
Trxnref = 24.0100;
Trxnsp = Trxnref - Trxnss;
Tbotss = 23.5400;
Tbotref = 24.0100;
Tbotsp = Tbotref - Tbotss;

for iter = iiter-1:iiter
    iter
    tf = tf + 1;
    Ttopws = Tws(1,2);
    Trxnws = Tws(1,3);
    Tbotws = Tws(1,5);
    Ttopdyn = Ttopws-Ttopss;
    Trxndyn = Trxnws-Trxnss;
    Tbotdyn = Tbotws-Tbotss;

    [tcc xcc ycc] = sim('ServoMPCRPDCExp', [ti tf]);
    ttop = ycc(:,1);
    utop = ycc(:,2);
    Ttop = ycc(:,3);
    trxn = ycc(:,4);
    urxn = ycc(:,5);
    Trxn = ycc(:,6);
    tbot = ycc(:,7);
    ubot = ycc(:,8);
    Tbot = ycc(:,9);

    R = abs(utop(1))
    R = (R/R)*3
    suf = 3;
    tt = 0:1:suf*R+suf-1;
    Rr = [[R*suf*(ones(1,suf))] zeros(1,suf*R)];

    F = abs(urxn(1));

```

```

F = (F/F)*1;
AcH_pump_value = [6 0 6 0 6 0 0 0]
EtOH_pump_value = (1/F)*AcH_pump_value

rebv = abs(ubot(1));
rebv = (rebv/rebv)*30;
reb_value = [rebv rebv rebv rebv rebv rebv rebv rebv];
Qreb = (rebv/100)*700;

[t x y] = sim('DynamicsModel', [0 length(tt)]);
y1 = y(:,1);
y2 = y(:,2);
y3 = y(:,3);
y4 = y(:,4);
y5 = y(:,5);
y6 = y(:,6);
y7 = y(:,7);
[rt ct] = size(t);
ControlOutput(1:rt,1) = y1;
ControlOutput(1:rt,2) = y2;
ControlOutput(1:rt,3) = y3;
ControlOutput(1:rt,4) = y4;
ControlOutput(1:rt,5) = y5;
ControlOutput(1:rt,6) = y6;
ControlOutput(1:rt,7) = y7;
end

fiter = inf;
for iter = iiter:fiter
    iter
    tf = tf + 1;
    [rdo cdo] = size(ControlOutput);

    Ttopws = Tws(1,4);
    Trxnws = Tws(1,5);
    Tbotws = Tws(1,7);
    Ttopdyn = Ttopws-Ttopss;
    Trxndyn = Trxnws-Trxnss;
    Tbotdyn = Tbotws-Tbotss;
    [tcc xcc ycc] = sim('ServoMPCRPDCExp', [ti tf]);
    ttop = ycc(:,1);
    utop = ycc(:,2);
    Ttop = ycc(:,3);
    trxn = ycc(:,4);
    urxn = ycc(:,5);
    Trxn = ycc(:,6);
    tbot = ycc(:,7);
    ubot = ycc(:,8);
    Tbot = ycc(:,9);

    R = abs(utop(1))
    R = round(R)

    suf = 3;
    tt = 0:1:suf*R+suf-1;
    Rr = [[R*suf*(ones(1,suf))] zeros(1,suf*R)];

```

```

F = abs(urxn(1));
F = round(F);

AcH_pump_value = [6 0 6 0 6 0 0 0]
EtOH_pump_value = (1/F)*AcH_pump_value

rebv = abs(ubot(1));
rebv = round(rebv);

reb_value = [rebv rebv rebv rebv rebv rebv rebv rebv];
Qreb = (rebv/100)*700;

[t x y] = sim('DynamicsModel', [0 length(tt)]);
y1 = y(:,1);
y2 = y(:,2);
y3 = y(:,3);
y4 = y(:,4);
y5 = y(:,5);
y6 = y(:,6);
y7 = y(:,7);
[rt ct] = size(t);
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,1) = y1;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,2) = y2;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,3) = y3;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,4) = y4;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,5) = y5;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,6) = y6;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,7) = y7;
[r c] = size(ControlOutput);
sim_time = [0:r-1]';
sim_t = sim_time(end);
ControlResults = [sim_time ControlOutput];
csvwrite('010612SerDMPCPer_1', ycc);
csvwrite('010612SerDMPC_1', ControlResults);
end

```

Ayrımsız MPC

```

commandwindow
clear all
close all
clc
bdclose('all')

load('ServoRPDC')
clearvars -except model1 model2 model3 topmodel rxnmodel botmodel MPC1
MPC2 MPC3

gi11num = 1;
gi11den = 1;
gi12num = 1;
gi12den = 1;
gi13num = 1;
gi13den = 1;
gi21num = 1;
gi21den = 1;

```

```

gi22num = 1;
gi22den = 1;
gi23num = 1;
gi23den = 1;
gi31num = 1;
gi31den = 1;
gi32num = 1;
gi32den = 1;
gi33num = 1;
gi33den = 1;

stm = 60;
tstep = 0;
tstep = tstep/stm;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Simulink Models
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% open('InitializationModel');
open('DynamicsModel');
% open('ControlModel');
% open('ServoMPCRPDCExp');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Simulations
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
tii = 0;
tfi = 1;
sim('InitializationModel', [tii tfi]);

signal_time = [0 1 2 3 4 5 6 7];
sim_t = 0;
ti = 0;
tf = 0;
iiter = 1;

Ttopss = 23.5400;
Ttopref = 70.7500;
Ttopsp = Ttopref - Ttopss;
Trxnss = 23.5400;
Trxnref = 24.0100;
Trxnsp = Trxnref - Trxnss;
Tbotss = 23.5400;
Tbotref = 24.0100;
Tbotsp = Tbotref - Tbotss;

for iter = iiter-1:iiter
    iter
    tf = tf + 1;
    Ttopws = Tws(1,2);
    Trxnws = Tws(1,3);
    Tbotws = Tws(1,5);
    Ttopdyn = Ttopws-Ttopss;
    Trxndyn = Trxnws-Trxnss;
    Tbotdyn = Tbotws-Tbotss;

    [tcc xcc ycc] = sim('ServoMPCRPDCExp', [ti tf]);
    ttop = ycc(:,1);
    utop = ycc(:,2);

```

```

Ttop = ycc(:,3);
trxn = ycc(:,4);
urxn = ycc(:,5);
Trxn = ycc(:,6);
tbot = ycc(:,7);
ubot = ycc(:,8);
Tbot = ycc(:,9);

R = abs(utop(1))
R = (R/R)*3
suf = 3;
tt = 0:1:suf*R+suf-1;
Rr = [[R*suf*(ones(1,suf))] zeros(1,suf*R)];

F = abs(urxn(1));
F = (F/F)*1;
AcH_pump_value = [6 0 6 0 6 0 0 0]
EtOH_pump_value = (1/F)*AcH_pump_value

rebv = abs(ubot(1));
rebv = (rebv/rebv)*30;
reb_value = [rebv rebv rebv rebv rebv rebv rebv rebv];
Qreb = (rebv/100)*700;

[t x y] = sim('DynamicsModel', [0 length(tt)]);
y1 = y(:,1);
y2 = y(:,2);
y3 = y(:,3);
y4 = y(:,4);
y5 = y(:,5);
y6 = y(:,6);
y7 = y(:,7);
[rt ct] = size(t);
ControlOutput(1:rt,1) = y1;
ControlOutput(1:rt,2) = y2;
ControlOutput(1:rt,3) = y3;
ControlOutput(1:rt,4) = y4;
ControlOutput(1:rt,5) = y5;
ControlOutput(1:rt,6) = y6;
ControlOutput(1:rt,7) = y7;
end

fiter = inf;
for iter = iiter:fiter
    iter
    tf = tf + 1;
    [rdo cdo] = size(ControlOutput);

    Ttopws = Tws(1,4);
    Trxnws = Tws(1,5);
    Tbotws = Tws(1,7);
    Ttopdyn = Ttopws-Ttopss;
    Trxndyn = Trxnws-Trxnss;
    Tbotdyn = Tbotws-Tbotss;
    [tcc xcc ycc] = sim('ServoMPCRPDCExp', [ti tf]);
    ttop = ycc(:,1);
    utop = ycc(:,2);
    Ttop = ycc(:,3);

```

```

    trxn = ycc(:,4);
    urxn = ycc(:,5);
    Trxn = ycc(:,6);
    tbot = ycc(:,7);
    ubot = ycc(:,8);
    Tbot = ycc(:,9);

    R = abs(utop(1))
    R = round(R)

    suf = 3;
    tt = 0:1:suf*R+suf-1;
    Rr = [[R*suf*(ones(1,suf))] zeros(1,suf*R)];

    F = abs(urxn(1));
    F = round(F);

    AcH_pump_value = [6 0 6 0 6 0 0 0]
    EtOH_pump_value = (1/F)*AcH_pump_value

    rebv = abs(ubot(1));
    rebv = round(rebv);

    reb_value = [rebv rebv rebv rebv rebv rebv rebv rebv];
    Qreb = (rebv/100)*700;

    [t x y] = sim('DynamicsModel', [0 length(tt)]);
    y1 = y(:,1);
    y2 = y(:,2);
    y3 = y(:,3);
    y4 = y(:,4);
    y5 = y(:,5);
    y6 = y(:,6);
    y7 = y(:,7);
    [rt ct] = size(t);
    ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,1) = y1;
    ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,2) = y2;
    ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,3) = y3;
    ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,4) = y4;
    ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,5) = y5;
    ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,6) = y6;
    ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,7) = y7;
    [r c] = size(ControlOutput);
    sim_time = [0:r-1]';
    sim_t = sim_time(end);
    ControlResults = [sim_time ControlOutput];
    csvwrite('010612SerDMPCPer_1', ycc);
    csvwrite('010612SerDMPC_1', ControlResults);
end

```

Klasik PIDC İçin

```

commandwindow
clear all
close all
clc

```

```

bdclose('all')

load('ServoRPDC')
clearvars -except model1 model2 model3 topmodel rxnmodel botmodel MPC1
MPC2 MPC3

gi11num = 1;
gi11den = 1;
gi12num = 1;
gi12den = 1;
gi13num = 1;
gi13den = 1;
gi21num = 1;
gi21den = 1;
gi22num = 1;
gi22den = 1;
gi23num = 1;
gi23den = 1;
gi31num = 1;
gi31den = 1;
gi32num = 1;
gi32den = 1;
gi33num = 1;
gi33den = 1;

stm = 60;
tstep = 0;
tstep = tstep/stm;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Cohen-Coon Method %%%%%%%%%%%%%%
Kp1 = topmodel.Kp.value(1);
T1 = topmodel.Tp1.value(1)/stm;
Td1 = topmodel.Td.value(1)/stm;
kc1 = 1/Kp1 * T1/Td1 * (4/3 + Td1/(4*T1));
tauI1 = Td1 * (32 + 6 * Td1/T1)/(13 + 8 * Td1/T1);
tauD1 = Td1 * 4/(11 + 2 * (Td1/T1));
P1 = kc1;
I1 = kc1/tauI1;
D1 = kc1*tauD1;

Kp2 = rxnmodel.Kp.value(1);
T2 = rxnmodel.Tp1.value(1)/stm;
Td2 = rxnmodel.Td.value(1)/stm;
kc2 = 1/Kp2 * T2/Td2 * (4/3 + Td2/(4*T2));
tauI2 = Td2 * (32 + 6 * Td2/T2)/(13 + 8 * Td2/T2);
tauD2 = Td2 * 4/(11 + 2 * (Td2/T2));
P2 = kc2;
I2 = kc2/tauI2;
D2 = kc2*tauD2;

Kp3 = botmodel.Kp.value(1);
T3 = botmodel.Tp1.value(1)/stm;
Td3 = botmodel.Td.value(1)/stm;
kc3 = 1/Kp3 * T3/Td3 * (4/3 + Td3/(4*T3));
tauI3 = Td3 * (32 + 6 * Td3/T3)/(13 + 8 * Td3/T3);
tauD3 = Td3 * 4/(11 + 2 * (Td3/T3));
P3 = kc3;
I3 = kc3/tauI3;

```

```

D3 = kc3*tauD3;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Simulink Models
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% open('InitializationModel');
open('DynamicsModel');
% open('ControlModel');
% open('ServoPIDCRPDCExp');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% PIDC Simulations
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
tii = 0;
tfi = 1;
sim('InitializationModel', [tii tfi]);

signal_time = [0 1 2 3 4 5 6 7];
sim_t = 0;
ti = 0;
tf = 0;
iiter = 1;

Ttopss = 23.5400;
Ttopref = 70.7500;
Ttopsp = Ttopref - Ttopss;
Trxnss = 23.5400;
Trxnref = 24.0100;
Trxnsp = Trxnref - Trxnss;
Tbotss = 23.5400;
Tbotref = 24.0100;
Tbotsp = Tbotref - Tbotss;

for iter = iiter-1:iiter
    iter
    tf = tf + 1;
    Ttopws = Tws(1,2);
    Trxnws = Tws(1,3);
    Tbotws = Tws(1,5);
    Ttopdyn = Ttopws-Ttopss;
    Trxndyn = Trxnws-Trxnss;
    Tbotdyn = Tbotws-Tbotss;

    [tcc xcc ycc] = sim('ServoPIDCRPDCExp', [ti tf]);
    ttop = ycc(:,1);
    utop = ycc(:,2);
    Ttop = ycc(:,3);
    trxn = ycc(:,4);
    urxn = ycc(:,5);
    Trxn = ycc(:,6);
    tbot = ycc(:,7);
    ubot = ycc(:,8);
    Tbot = ycc(:,9);

    R = abs(utop(1));
    R = (R/R)*3
    suf = 3;
    tt = 0:1:suf*R+suf-1;
    Rr = [[R*suf*(ones(1,suf))] zeros(1,suf*R)];

```

```

F = abs(urxn(1));
F = (F/F)*1;
AcH_pump_value = [6 0 6 0 6 0 0 0]
EtOH_pump_value = (1/F)*AcH_pump_value

rebv = abs(ubot(1));
rebv = (rebv/rebv)*30;
reb_value = [rebv rebv rebv rebv rebv rebv rebv rebv];
Qreb = (rebv/100)*700;

[t x y] = sim('DynamicsModel', [0 length(tt)]);
y1 = y(:,1);
y2 = y(:,2);
y3 = y(:,3);
y4 = y(:,4);
y5 = y(:,5);
y6 = y(:,6);
y7 = y(:,7);
[rt ct] = size(t);
ControlOutput(1:rt,1) = y1;
ControlOutput(1:rt,2) = y2;
ControlOutput(1:rt,3) = y3;
ControlOutput(1:rt,4) = y4;
ControlOutput(1:rt,5) = y5;
ControlOutput(1:rt,6) = y6;
ControlOutput(1:rt,7) = y7;
end

fiter = inf;
for iter = iiter:fiter
    iter
    tf = tf + 1;
    [rdo cdo] = size(ControlOutput);

    Ttopws = Tws(1,4);
    Trxnws = Tws(1,5);
    Tbotws = Tws(1,7);
    Ttopdyn = Ttopws-Ttopss;
    Trxndyn = Trxnws-Trxnss;
    Tbotdyn = Tbotws-Tbotss;
    [tcc xcc ycc] = sim('ServoPIDCRPDCExp', [ti tf]);
    ttop = ycc(:,1);
    utop = ycc(:,2);
    Ttop = ycc(:,3);
    trxn = ycc(:,4);
    urxn = ycc(:,5);
    Trxn = ycc(:,6);
    tbot = ycc(:,7);
    ubot = ycc(:,8);
    Tbot = ycc(:,9);

    R = abs(utop(1))
    R = round(R)

    suf = 3;
    tt = 0:1:suf*R+suf-1;

```

```

Rr = [[R*suf*(ones(1,suf))] zeros(1,suf*R)];

F = abs(urxn(1));
F = round(F);

AcH_pump_value = [6 0 6 0 6 0 0 0]
EtOH_pump_value = (1/F)*AcH_pump_value

rebv = abs(ubot(1));
rebv = round(rebv);

reb_value = [rebv rebv rebv rebv rebv rebv rebv rebv];
Qreb = (rebv/100)*700;

[t x y] = sim('DynamicsModel', [0 length(tt)]);
y1 = y(:,1);
y2 = y(:,2);
y3 = y(:,3);
y4 = y(:,4);
y5 = y(:,5);
y6 = y(:,6);
y7 = y(:,7);
[rt ct] = size(t);
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,1) = y1;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,2) = y2;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,3) = y3;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,4) = y4;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,5) = y5;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,6) = y6;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,7) = y7;
[r c] = size(ControlOutput);
sim_time = [0:r-1]';
sim_t = sim_time(end);
ControlResults = [sim_time ControlOutput];
csvwrite('010612SerDPIDCPer_1', ycc);
csvwrite('010612SerDPIDC_1', ControlResults);
end

```

Yük etkisi İçin

Ayrılmış MPC

```

commandwindow
clear all
close all
clc
bdclose('all')

load('ServoRPDC')
clearvars -except model1 model2 model3 topmodel rxnmodel botmodel MPC1
MPC2 MPC3

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Decouplers
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
K = [model1.Kp.value(1) model1.Kp.value(2)

```

```

        model2.Kp.value(1) model2.Kp.value(2)];

KI = inv(K);
GIstc = KI;
ki11 = GIstc(1,1);
ki12 = GIstc(1,2);
ki21 = GIstc(2,1);
ki22 = GIstc(2,2);

gi11num = ki11;
gi11den = 1;
gi12num = ki12;
gi12den = 1;
gi21num = ki21;
gi21den = 1;
gi22num = ki22;
gi22den = 1;

tstep = 0;
tdist = 30;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Simulink Models
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% open('InitializationModel');
% open('DynamicsModel');
% open('ControlModel');
% open('RegulatoryMPCRPDCExp');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Simulations
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
tii = 0;
tfi = 1;
sim('InitializationModel', [tii tfi]);

signal_time = [0 1 2 3 4 5 6 7];
sim_t = 0;
ti = 0;
tf = 0;
iiter = 1;

Ttopss = 75.8800;
Ttopref = 75.8800;
Ttopsp = Ttopref - Ttopss;
Trxnss = 76.5600;
Trxnref = 76.5600;
Trxnsp = Trxnref - Trxnss;
Tbotdist = 1;

for iter = iiter-1:iiter
    iter
    tf = tf + 1;
    Ttopws = Tws(1,2);
    Trxnws = Tws(1,3);
    Ttopdyn = Ttopws-Ttopss;
    Trxndyn = Trxnws-Trxnss;
    [tcc xcc ycc] = sim('RegulatoryMPCRPDCExp', [ti tf]);
    ttop = ycc(:,1);

```

```

utop = ycc(:,2);
Ttop = ycc(:,3);
trxn = ycc(:,4);
urxn = ycc(:,5);
Trxn = ycc(:,6);

R = abs(utop(1));
R = (R/R)*3
suf = 3;
tt = 0:1:suf*R+suf-1;
Rr = [[R*suf*(ones(1,suf))] zeros(1,suf*R)];

F = abs(urxn(1));
F = (F/F)*1;
AcH_pump_value = [6 0 6 0 6 0 0 0]
EtOH_pump_value = (1/F)*AcH_pump_value

rebv = 30;
reb_value = [rebv rebv rebv rebv rebv rebv rebv rebv];
Qreb = (rebv/100)*700;

[t x y] = sim('DynamicsModel', [0 length(tt)]);
y1 = y(:,1);
y2 = y(:,2);
y3 = y(:,3);
y4 = y(:,4);
y5 = y(:,5);
y6 = y(:,6);
y7 = y(:,7);
[rt ct] = size(t);
ControlOutput(1:rt,1) = y1;
ControlOutput(1:rt,2) = y2;
ControlOutput(1:rt,3) = y3;
ControlOutput(1:rt,4) = y4;
ControlOutput(1:rt,5) = y5;
ControlOutput(1:rt,6) = y6;
ControlOutput(1:rt,7) = y7;
end

fiter = inf;
for iter = iiter:fiter
    iter
    tf = tf + 1;
    [rdo cdo] = size(ControlOutput);

    Ttopws = Tws(1,4);
    Trxnws = Tws(1,5);
    Ttopdyn = Ttopws-Ttopss;
    Trxndyn = Trxnws-Trxnss;
    [tcc xcc ycc] = sim('RegulatoryMPCRPDCExp', [ti tf]);
    ttop = ycc(:,1);
    utop = ycc(:,2);
    Ttop = ycc(:,3);
    trxn = ycc(:,4);
    urxn = ycc(:,5);
    Trxn = ycc(:,6);

```

```

R = abs(utop(1))
R = round(R)

suf = 3;
tt = 0:1:suf*R+suf-1;
Rr = [[R*suf*(ones(1,suf))] zeros(1,suf*R)];

F = abs(urxn(1));
F = round(F);

AcH_pump_value = [6 0 6 0 6 0 0 0]
EtOH_pump_value = (1/F)*AcH_pump_value

rebv = 35;
reb_value = [rebv rebv rebv rebv rebv rebv rebv rebv];
Qreb = (rebv/100)*700;

[t x y] = sim('DynamicsModel', [0 length(tt)]);
y1 = y(:,1);
y2 = y(:,2);
y3 = y(:,3);
y4 = y(:,4);
y5 = y(:,5);
y6 = y(:,6);
y7 = y(:,7);
[rt ct] = size(t);
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,1) = y1;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,2) = y2;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,3) = y3;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,4) = y4;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,5) = y5;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,6) = y6;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,7) = y7;
[r c] = size(ControlOutput);
sim_time = [0:r-1]';
sim_t = sim_time(end);
ControlResults = [sim_time ControlOutput];
csvwrite('050612RegDMPCPer1', ycc);
csvwrite('050612RegDMPC1', ControlResults);
end

```

Ayırimsız MPC

```

commandwindow
clear all
close all
clc
bdclose('all')

load('ServoRPDC')
clearvars -except model1 model2 model3 topmodel rxnmodel botmodel MPC1
MPC2 MPC3

gi11num = 1;
gi11den = 1;
gi12num = 1;

```

```

gi12den = 1;
gi21num = 1;
gi21den = 1;
gi22num = 1;
gi22den = 1;

tstep = 0;
tdist = 30;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Simulink Models
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% open('InitializationModel');
open('DynamicsModel');
% open('ControlModel');
% open('RegulatoryMPCRPDCExp');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Simulations
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
tii = 0;
tfi = 1;
sim('InitializationModel', [tii tfi]);

signal_time = [0 1 2 3 4 5 6 7];
sim_t = 0;
ti = 0;
tf = 0;
iiter = 1;

Ttopss = 72.9000;
Ttopref = Ttopss;
Ttopsp = Ttopref - Ttopss;
Trxnss = 75.3200;
Trxnref = Trxnss;
Trxnsp = Trxnref - Trxnss;
Tbotdist = 1;

for iter = iiter-1:iiter
    iter
    tf = tf + 1;
    Ttopws = Tws(1,2);
    Trxnws = Tws(1,3);
    Ttopdyn = Ttopws-Ttopss;
    Trxndyn = Trxnws-Trxnss;
    [tcc xcc ycc] = sim('RegulatoryMPCRPDCExp', [ti tf]);
    ttop = ycc(:,1);
    utop = ycc(:,2);
    Ttop = ycc(:,3);
    trxn = ycc(:,4);
    urxn = ycc(:,5);
    Trxn = ycc(:,6);

    R = abs(utop(1));
    R = (R/R)*3
    suf = 3;
    tt = 0:1:suf*R+suf-1;
    Rr = [[R*suf*(ones(1,suf))] zeros(1,suf*R)];

```

```

F = abs(urxn(1));
F = (F/F)*1;
AcH_pump_value = [6 0 6 0 6 0 0 0]
EtOH_pump_value = (1/F)*AcH_pump_value

rebv = 35;
reb_value = [rebv rebv rebv rebv rebv rebv rebv rebv];
Qreb = (rebv/100)*700;

[t x y] = sim('DynamicsModel', [0 length(tt)]);
y1 = y(:,1);
y2 = y(:,2);
y3 = y(:,3);
y4 = y(:,4);
y5 = y(:,5);
y6 = y(:,6);
y7 = y(:,7);
[rt ct] = size(t);
ControlOutput(1:rt,1) = y1;
ControlOutput(1:rt,2) = y2;
ControlOutput(1:rt,3) = y3;
ControlOutput(1:rt,4) = y4;
ControlOutput(1:rt,5) = y5;
ControlOutput(1:rt,6) = y6;
ControlOutput(1:rt,7) = y7;
end

fiter = inf;
for iter = iiter:fiter
    iter
    tf = tf + 1;
    [rdo cdo] = size(ControlOutput);

    Ttopws = Tws(1,4);
    Trxnws = Tws(1,5);
    Ttopdyn = Ttopws-Ttopss;
    Trxndyn = Trxnws-Trxnss;
    [tcc xcc ycc] = sim('RegulatoryMPCRPDCExp', [ti tf]);
    ttop = ycc(:,1);
    utop = ycc(:,2);
    Ttop = ycc(:,3);
    trxn = ycc(:,4);
    urxn = ycc(:,5);
    Trxn = ycc(:,6);

    R = abs(utop(1))
    R = round(R)

    suf = 3;
    tt = 0:1:suf*R+suf-1;
    Rr = [[R*suf*(ones(1,suf))] zeros(1,suf*R)];

    F = abs(urxn(1));
    F = round(F);

    AcH_pump_value = [6 0 6 0 6 0 0 0]
    EtOH_pump_value = (1/F)*AcH_pump_value

```

```

rebv = 35;
reb_value = [rebv rebv rebv rebv rebv rebv rebv rebv];
Qreb = (rebv/100)*700;

[t x y] = sim('DynamicsModel', [0 length(tt)]);
y1 = y(:,1);
y2 = y(:,2);
y3 = y(:,3);
y4 = y(:,4);
y5 = y(:,5);
y6 = y(:,6);
y7 = y(:,7);
[rt ct] = size(t);
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,1) = y1;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,2) = y2;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,3) = y3;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,4) = y4;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,5) = y5;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,6) = y6;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,7) = y7;
[r c] = size(ControlOutput);
sim_time = [0:r-1]';
sim_t = sim_time(end);
ControlResults = [sim_time ControlOutput];
csvwrite('050612RegMPCPer11', ycc);
csvwrite('050612RegMPC11', ControlResults);
end

```

Klasik PIDC

```

commandwindow
clear all
close all
clc
bdclose('all')

load('RegulatoryRPDC')
clearvars -except model1 model2 model3 topmodel rxnmodel MPC1 MPC2

gi11num = 1;
gi11den = 1;
gi12num = 1;
gi12den = 1;
gi21num = 1;
gi21den = 1;
gi22num = 1;
gi22den = 1;

stm = 60;
tstep = 0;
tdist = 30;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Controller's Tuning Models
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Cohen-Coon Method %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

Kp1 = topmodel.Kp.value(1);
T1 = topmodel.Tp1.value(1)/stm;
Td1 = topmodel.Td.value(1)/stm;
kc1 = 1/Kp1 * T1/Td1 * (4/3 + Td1/(4*T1));
tauI1 = Td1 * (32 + 6 * Td1/T1)/(13 + 8 * Td1/T1);
tauD1 = Td1 * 4/(11 + 2 * (Td1/T1));
P1 = kc1;
I1 = kc1/tauI1;
D1 = kc1*tauD1;

Kp2 = rxnmodel.Kp.value(1);
T2 = rxnmodel.Tp1.value(1)/stm;
Td2 = rxnmodel.Td.value(1)/stm;
kc2 = 1/Kp2 * T2/Td2 * (4/3 + Td2/(4*T2));
tauI2 = Td2 * (32 + 6 * Td2/T2)/(13 + 8 * Td2/T2);
tauD2 = Td2 * 4/(11 + 2 * (Td2/T2));
P2 = kc2;
I2 = kc2/tauI2;
D2 = kc2*tauD2;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Simulink Models
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% open('InitializationModel');
open('DynamicsModel');
% open('ControlModel');
% open('RegulatoryPIDCRPDCExp');

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% PIDC Simulations
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
tii = 0;
tfi = 1;
sim('InitializationModel', [tii tfi]);

signal_time = [0 1 2 3 4 5 6 7];
sim_t = 0;
ti = 0;
tf = 0;
iiter = 1;

Ttopss = 72.7200;
Ttopref = Ttopss;
Ttopsp = Ttopref - Ttopss;
Trxnss = 84.3400;
Trxnref = Trxnss;
Trxnsp = Trxnref - Trxnss;
Tbotdist = 1;

for iter = iiter-1:iiter
    iter
    tf = tf + 1;
    Ttopws = Tws(1,2);
    Trxnws = Tws(1,3);
    Ttopdyn = Ttopws-Ttopss;
    Trxndyn = Trxnws-Trxnss;
    [tcc xcc ycc] = sim('RegulatoryPIDCRPDCExp', [ti tf]);
    ttop = ycc(:,1);
    utop = ycc(:,2);
    Ttop = ycc(:,3);

```

```

    trxn = ycc(:,4);
    urxn = ycc(:,5);
    Trxn = ycc(:,6);

    R = abs(utop(1));
    R = (R/R)*3
    suf = 3;
    tt = 0:1:suf*R+suf-1;
    Rr = [[R*suf*(ones(1,suf))] zeros(1,suf*R)];

    F = abs(urxn(1));
    F = (F/F)*1;
    AcH_pump_value = [6 0 6 0 6 0 0 0]
    EtOH_pump_value = (1/F)*AcH_pump_value

    rebv = 35;
    reb_value = [rebv rebv rebv rebv rebv rebv rebv rebv];
    Qreb = (rebv/100)*700;

    [t x y] = sim('DynamicsModel', [0 length(tt)]);
    y1 = y(:,1);
    y2 = y(:,2);
    y3 = y(:,3);
    y4 = y(:,4);
    y5 = y(:,5);
    y6 = y(:,6);
    y7 = y(:,7);
    [rt ct] = size(t);
    ControlOutput(1:rt,1) = y1;
    ControlOutput(1:rt,2) = y2;
    ControlOutput(1:rt,3) = y3;
    ControlOutput(1:rt,4) = y4;
    ControlOutput(1:rt,5) = y5;
    ControlOutput(1:rt,6) = y6;
    ControlOutput(1:rt,7) = y7;
end

fiter = inf;
for iter = iiter:fiter
    iter
    tf = tf + 1;
    [rdo cdo] = size(ControlOutput);

    Ttopws = Tws(1,4);
    Trxnws = Tws(1,5);
    Ttopdyn = Ttopws-Ttopss;
    Trxndyn = Trxnws-Trxnss;
    [tcc xcc ycc] = sim('RegulatoryPIDCRPDCExp', [ti tf]);
    ttop = ycc(:,1);
    utop = ycc(:,2);
    Ttop = ycc(:,3);
    trxn = ycc(:,4);
    urxn = ycc(:,5);
    Trxn = ycc(:,6);

    R = abs(utop(1))
    R = round(R)

```

```

suf = 3;
tt = 0:1:suf*R+suf-1;
Rr = [[R*suf*(ones(1,suf))] zeros(1,suf*R)];

F = abs(urxn(1));
F = round(F);

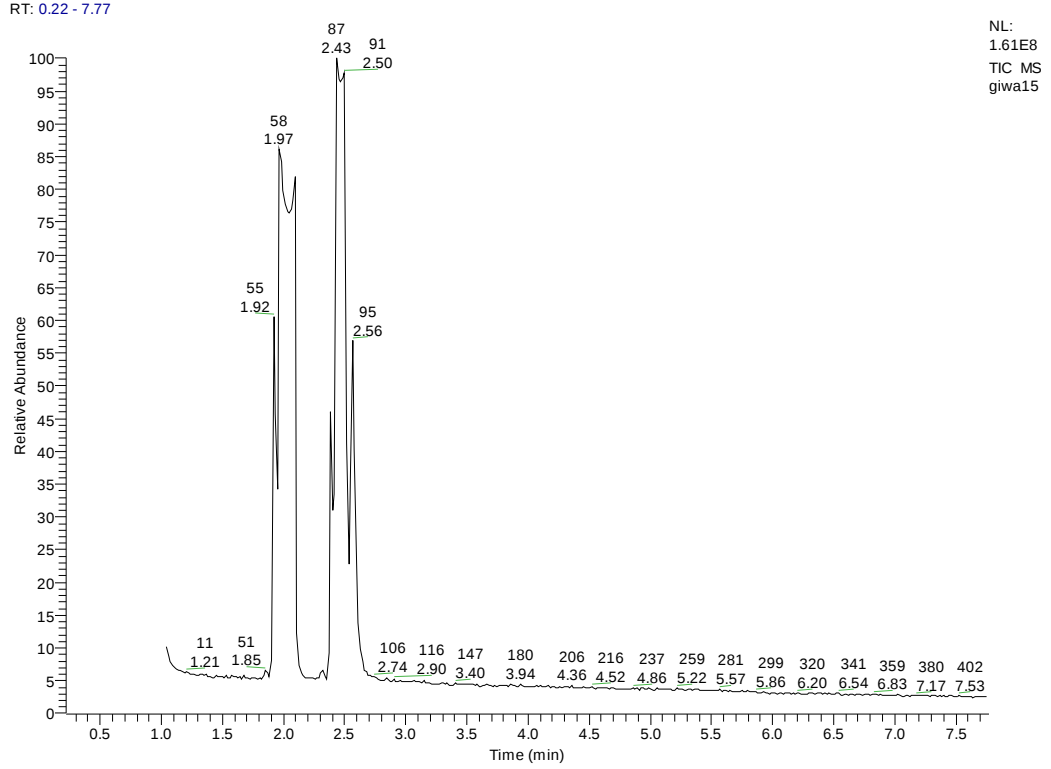
AcH_pump_value = [6 0 6 0 6 0 0 0]
EtOH_pump_value = (1/F)*AcH_pump_value

rebv = 35;
reb_value = [rebv rebv rebv rebv rebv rebv rebv rebv];
Qreb = (rebv/100)*700;

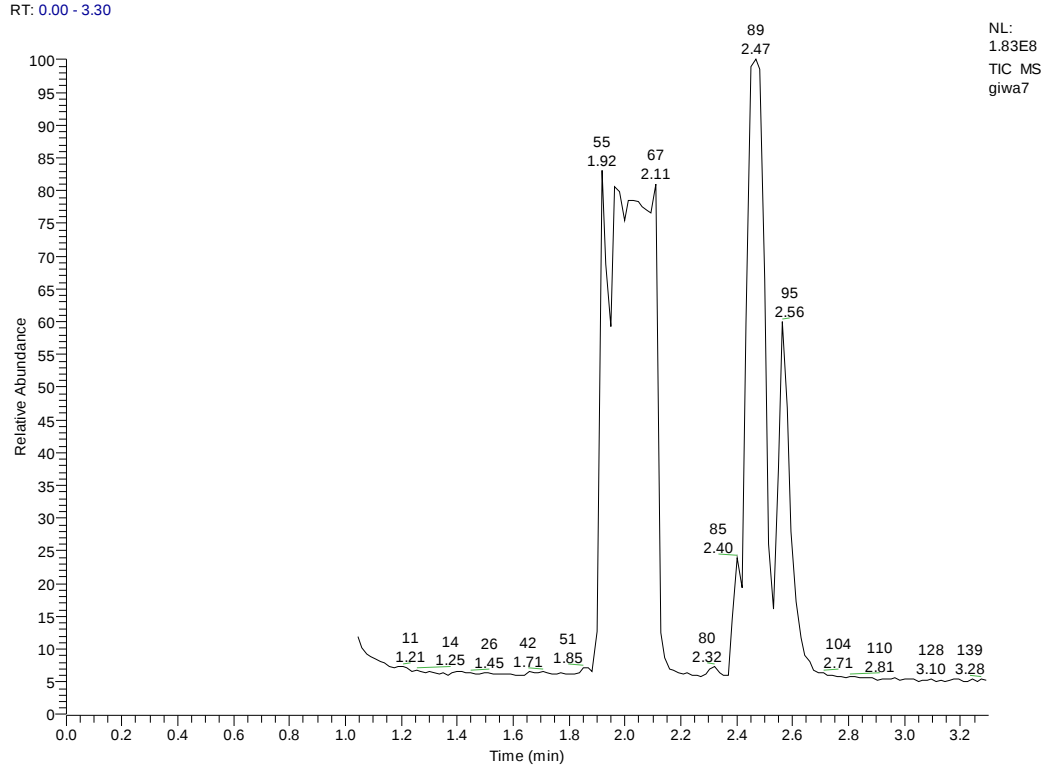
[t x y] = sim('DynamicsModel', [0 length(tt)]);
y1 = y(:,1);
y2 = y(:,2);
y3 = y(:,3);
y4 = y(:,4);
y5 = y(:,5);
y6 = y(:,6);
y7 = y(:,7);
[rt ct] = size(t);
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,1) = y1;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,2) = y2;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,3) = y3;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,4) = y4;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,5) = y5;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,6) = y6;
ControlOutput(rdo+1:rdo+rt,7) = y7;
[r c] = size(ControlOutput);
sim_time = [0:r-1]';
sim_t = sim_time(end);
ControlResults = [sim_time ControlOutput];
csvwrite('060612RegPIDCPer1', ycc);
csvwrite('060612RegPIDC1', ControlResults);
end

```

EK 8 Gas Kromatografi - Kütle Spektrometresi (GC-MS) Çıktıları

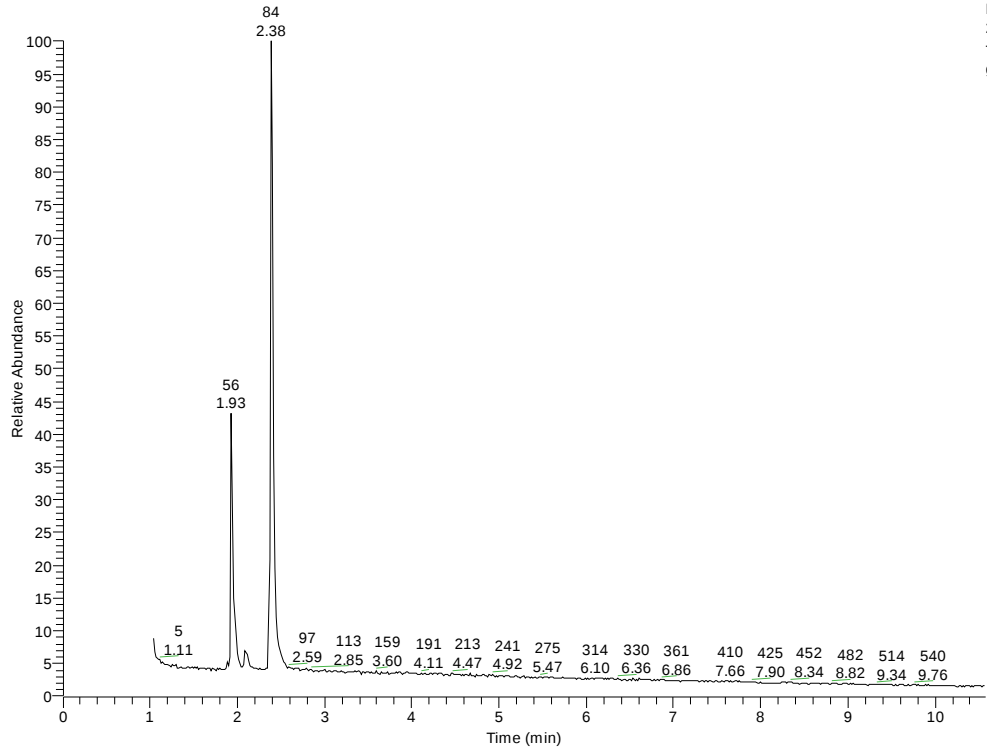


Şekil 2 Yatışkın hal deneyi için GCMS çıktısı



Şekil 3 Set noktası etkisi DMPC deneyi için GCMS çıktısı

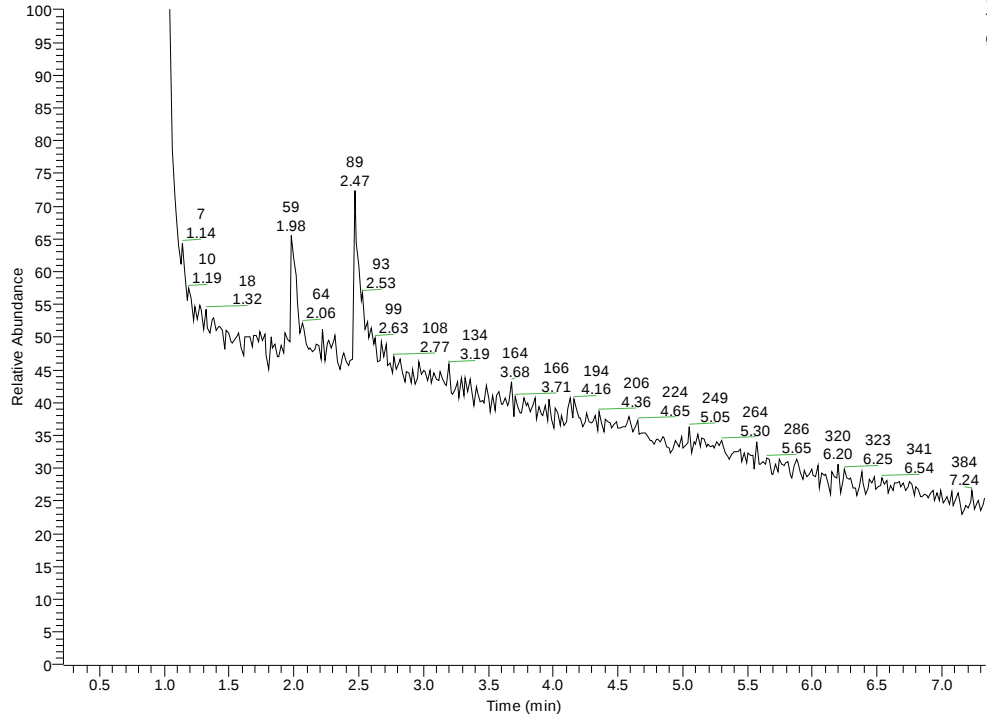
RT: 0.00 - 10.57



NL:
2.08E8
TIC MS
giwa21

Şekil 4 Set noktası etkisi MPC deneyi için GCMS çıktısı

RT: 0.22 - 7.33

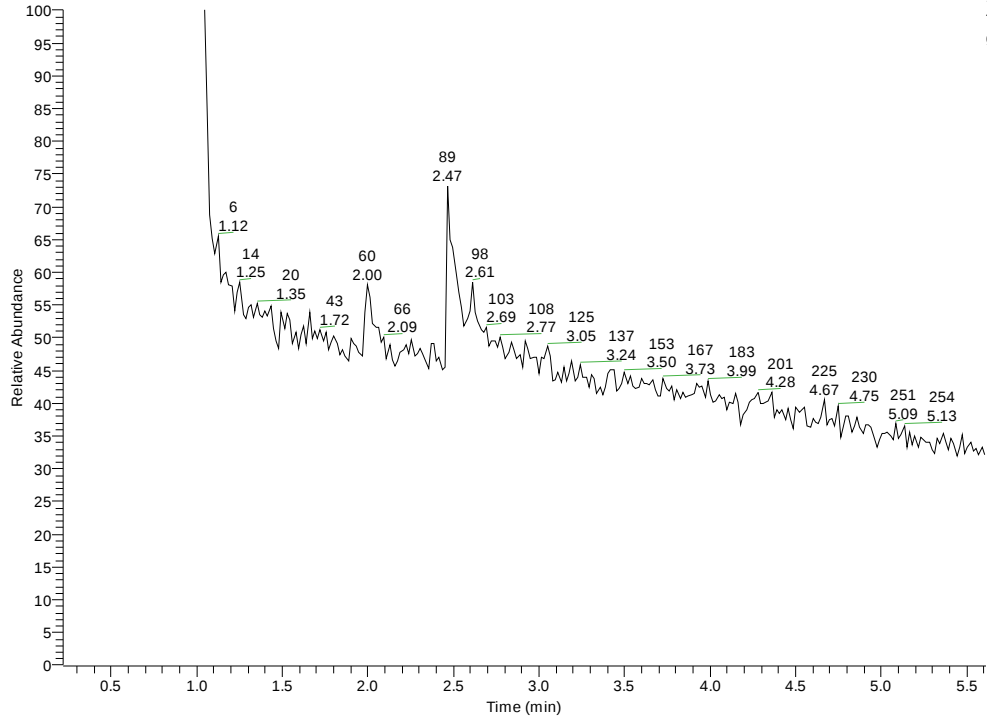


NL:
1.92E7
TIC MS
giwa22

Şekil 5 Set noktası etkisi PIDC deneyi için GCMS çıktısı

RT: 0.22 - 5.61

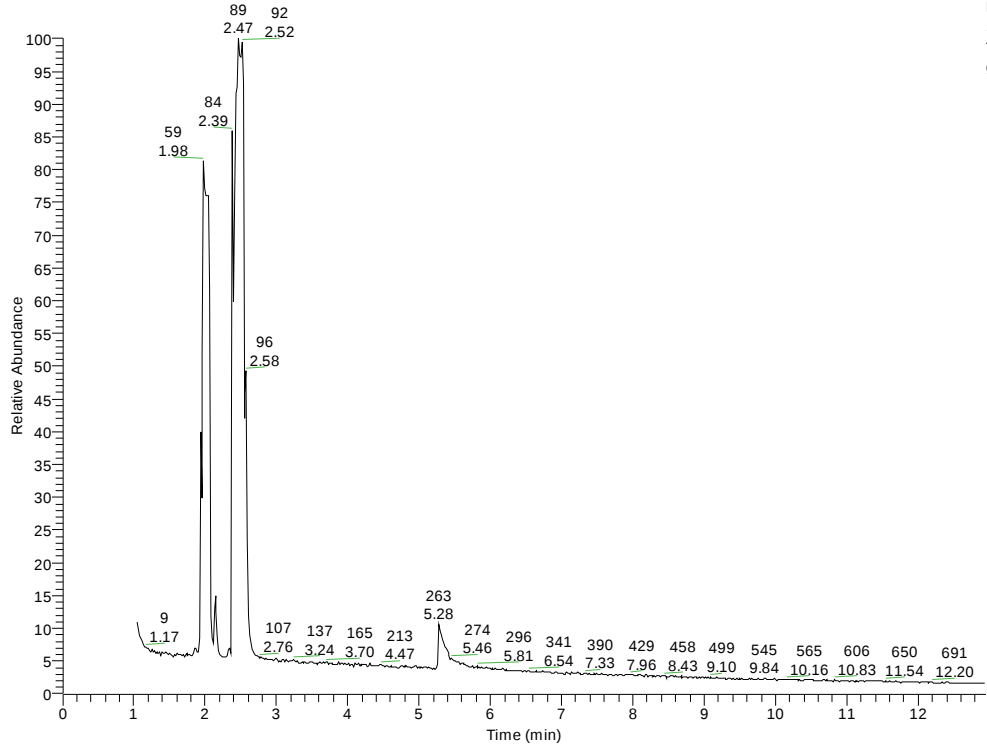
NL:
1.80E7
TIC MS
giwa23



Şekil 6 Yük etkisi DMPC deneyi için GCMS çıktısı

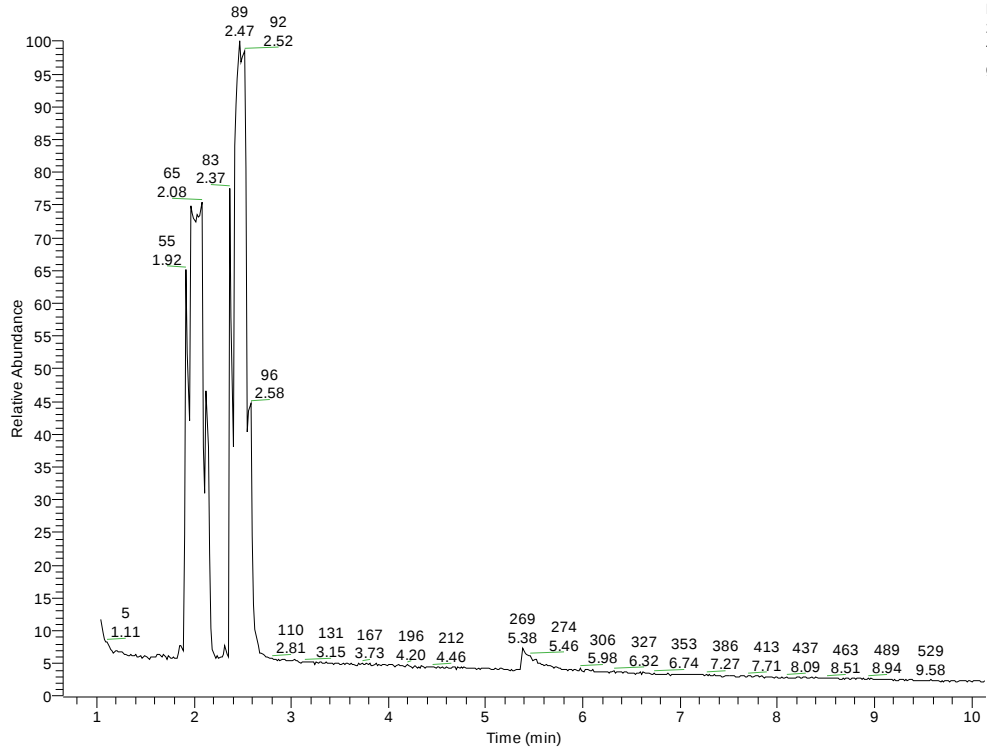
RT: 0.00 - 12.94

NL:
1.94E8
TIC MS
giwa6



Şekil 7 Yük etkisi MPC deneyi için GCMS çıktısı

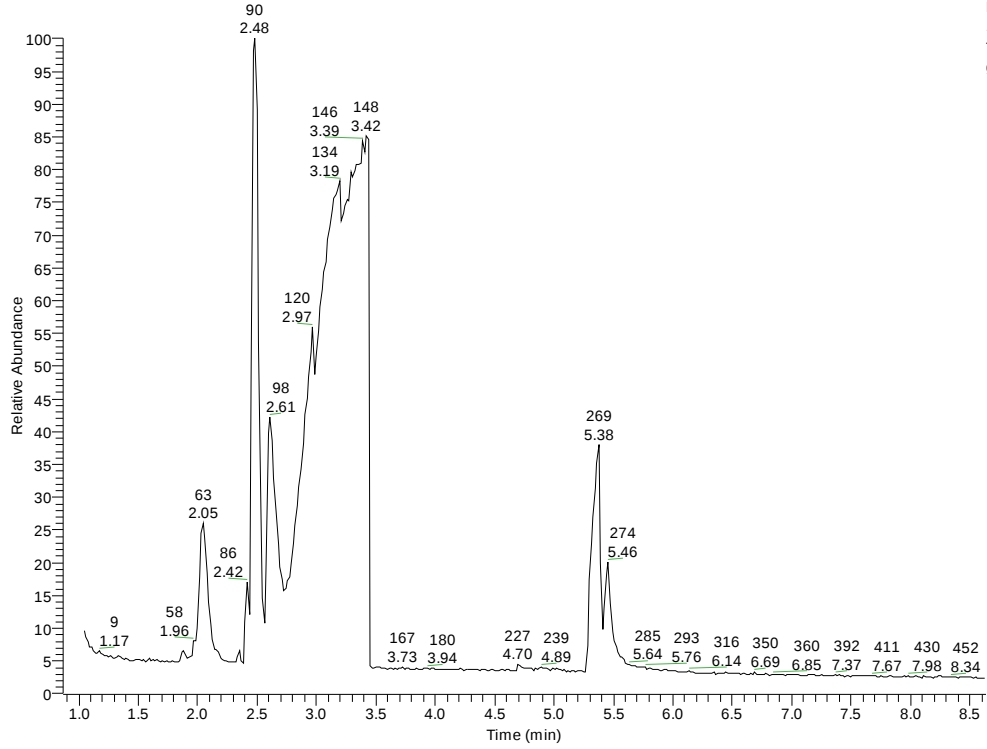
RT: 0.65 - 10.14



NL:
2.12E8
TIC MS
giwa4

Şekil 8 Yük etkisi PIDC deneyi için GCMS çıktısı

RT: 0.86 - 8.63



NL:
1.72E8
TIC MS
giwa8

Şekil 9 Alt ürün için GCMS çıktısı

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Abdulwahab GIWA
Doğum Yeri : Ile-Ife, Nijerya
Doğum Tarihi : 05.11.1976
Medeni Hali : Evli ve 3 çocuk babası
Yabancı Dili : İngilizce, Türkçe ve Arapça

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Barakat Community Secondary School, Ilorin, Nijerya. 1987 – 1993.
Lisans : Federal University of Technology, Minna, Nijerya. 1999 – 2004.
Yüksek Lisans: Federal University of Technology, Minna, Nijerya. 2004.

Tezler

- (1) Production of Soap Using Blend of Oils (Palm Oil and Palm Kernel), Chemical Engineering Department, Kaduna Polytechnic, Kaduna, Nigeria (1998).
- (2) Modelling and Simulation of Crude Oil Dispersion (A Case Study of Niger Delta), Chemical Engineering Department, Federal University of Technology, Minna, Nigeria (2004).
- (3) Design of a Plant to Produce 100 tonnes/day of 37/3 Formaldehyde by Air Oxidation of Methanol, Chemical Engineering Department, Federal University of Technology, Minna, Nigeria (2004).

Ödüller

- (1) **Bölüm Birincisi**, Kimya Mühendisliği Bölümü, Ön Lisans, Kaduna Polytechnic, Kaduna, Nigeria. 1998.
- (2) **Bölüm Birincisi**, Kimya Mühendisliği Bölümü, Federal University of Technology, Minna, Nigeria. 2004.

- (3) **Fakülte Birincisi**, Mühendislik ve Teknoloji Fakültesi, Federal University of Technology, Minna, Nigeria. 2004.
- (4) **En İyi Proje Öğrencisi**, Mühendislik ve Teknoloji Fakültesi, Federal University of Technology, Minna, Nigeria. 2004.
- (5) **TUBİTAK-BİDEB** Yabancı Uyruklular için Doktora Bursiyeri. 2007-2012

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Kaduna Refining and Petrochemical Company Limited, Kaduna, Nijerya. 1997.

Niger State Water Board, Minna, Nijerya. 2002.

Kebbi State Water Board, Kebbi, Nijerya. 2005 – 2006.

Federal University of Technology, Minna, Nijerya. 2006 – 2007.

Yayınları (SCI ve diğer)

Makaleler

- (1) **Giwa, A.** and Karacan, S. 2012. Decoupling PID Control of a Reactive Packed Distillation Column. International Journal of Engineering Research & Technology (ISSN: 2278-0181), 1(6): 1-10.
- (2) **Giwa, A.** and Karacan, S. 2012. Decoupling Model Predictive Control of a Reactive Packed Distillation Column. International Journal of Advances in Science and Technology (ISSN: 2229-5216), 4(6): 39-51.
- (3) **Giwa, A.** and Karacan, S. 2012. Development of Dynamic Models for a Reactive Packed Distillation Column. International Journal of Engineering (ISSN (Online): 1985-2312), 6(3): 118-128.
- (4) **Giwa, A.** and Karacan, S. 2012. Black-Box Modelling of Ethyl Acetate Reactive Packed Distillation Column. AU Journal of Technology, AU Journal of Technology (ISSN: 1513-0886), 15(3): 172-178.
- (5) **Giwa, A.** and Karacan, S. 2012. Simulation and Optimization of Ethyl Acetate Reactive Packed Distillation Process Using Aspen Hysys. The Online Journal of Science and Technology (ISSN: 2146-7390), 2(2): 57-63.
- (6) **Giwa, A.** and Karacan, S. 2012. Modeling and Simulation of a Reactive Packed Distillation Column Using Delayed Neural Networks. Chaotic Modeling and Simulation (ISSN 2241-0503), 1:101-108.
- (7) **Giwa, A.** and Jimoh, A. 2010. Development of Models for the Spreading of Crude Oil. AU Journal of Technology, AU Journal of Technology (ISSN: 1513-0886), 14(1): 66-71.
- (8) **Giwa, A.** and Karacan, S. 2012. Nonlinear Black-Box Modeling of a Reactive Distillation Process. Accepted for publication in International Journal of Engineering Research & Technology (ISSN: 2278-0181).

- (9) **Giwa, A.** and Karacan, S. 2012. State Space Model Predictive Control of a Reactive Distillation Process. Accepted for publication in International Journal of Pure and Applied Sciences and Technology (ISSN: 2229-6107).

Uluslararası Tebliğler

- (1) **Giwa, A.** and Karacan, S. Reducing Global Warming by Process Integration. Global Conference on Global Warming 2012, July 8-12, 2012, Istanbul, Turkey. Conference Proceedings (ISBN: 978-605-89885-1-5), 828-839.
- (2) **Giwa, A.** and Karacan, S. Reducing Global Warming by Process Integration. Global Conference on Global Warming 2012, July 8-12, 2012, Istanbul, Turkey. Abstract Book (ISBN: 978-605-89885-1-5), 110.
- (3) **Giwa, A.** and Karacan, S. Simulation and Optimization of Ethyl Acetate Reactive Packed Distillation Process Using Aspen Hysys. International Science and Technology Conference, 7-9 December 2011, Istanbul, Turkey. Proceedings Book (ISSN: 2146-7382), 722-727.
- (4) **Giwa, A.** and Karacan, S. Modeling and Simulation of a Reactive Packed Distillation Column Using Delayed Neural Networks. 4th Chaotic Modeling and Simulation International Conference, May 31 - June 3, 2011, Agios Nikolaos, Crete Greece. Proceedings, 121-127.
- (5) **Giwa, A.** and Karacan, S. Modeling and Simulation of a Reactive Packed Distillation Column Using Delayed Neural Networks. 4th Chaotic Modeling and Simulation International Conference, May 31 - June 3, 2011, Agios Nikolaos, Crete Greece. Book of Abstracts, 44.
- (6) **Giwa, A.**, Bayram, İ. and Karacan, S. Development of a Nonlinear ARX Model for a Reactive Packed Distillation Column. International 7th Statistics Congress, 28 April - 01 May 2011, Antalya. Book of Abstracts, 202-203.
- (7) **Giwa, A.** and Karacan, S. Neural Network Modeling of a Reactive Packed Distillation Column. International 7th Statistics Congress, 28 April - 01 May 2011, Antalya. Book of Abstracts, 166-167.
- (8) Berber, R., Karadurmuş, E., Yüceer, M., Atasoy, İ., Semizer, E., Akyürek, E., and **Giwa, A.** A Central River Water Quality Monitoring System for Yeşilirmak. Regional Meeting on Mediterranean Basin, 9-11 October 2008, Near East University, Lefkosa, Trnc. Book of Abstracts, 78.

Ulusal Tebliğler

- (1) **Giwa, A.** ve Karacan, S. Etil Asetat Üretiminin Yapıldığı Tepkimeli Damıtma Kolonunun Ayırmalı (“Decoupling”) “PID” Kontrolü. 10'ncu Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 3-6 Eylül 2012, Koç Üniversitesi, İstanbul, Bildiri Özet Kitabı, 163-164.
- (2) Taştımur, L., **Giwa, A.** ve Karacan, S. Etil asetat-Etanol Azeotrop Karışımının Damıtıldığı bir Ekstraktif Dolgulu Damıtma Kolonunun Sıcaklık Kontrolü. 10'ncu Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 3-6 Eylül 2012, Koç Üniversitesi, İstanbul, Bildiri Özet Kitabı, 171-172.

- (3) Gül, D., **Giwa, A.** ve Karacan, S. Kümen Üretiminin Yapıldığı Tepkimeli Bir Damıtma Kolonunun Benzetimi. 10'ncu Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 3-6 Eylül 2012, Koç Üniversitesi, İstanbul, Bildiri Özet.
- (4) **Giwa, A.** ve Karacan, S. Etil Asetat Üretiminin Yapıldığı Tepkimeli Damıtma Kolonunun Ayırımı (“Decoupling”) “PID” Kontrolü. 10'ncu Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 3-6 Eylül 2012, Koç Üniversitesi, İstanbul, Tam Metin.
- (5) Taştımur, L., **Giwa, A.** ve Karacan, S. Etil asetat-Etanol Azeotrop Karışımının Damıtıldığı bir Ekstraktif Dolgulu Damıtma Kolonunun Sıcaklık Kontrolü. 10'ncu Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 3-6 Eylül 2012, Koç Üniversitesi, İstanbul, Tam Metin.
- (6) Gül, D., **Giwa, A.** ve Karacan, S. Kümen Üretiminin Yapıldığı Tepkimeli Bir Damıtma Kolonunun Benzetimi. 10'ncu Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 3-6 Eylül 2012, Koç Üniversitesi, İstanbul, Tam Metin.
- (7) Bayram, İ., **Giwa, A.** ve Karacan, S. Tepkimeli Bir Damıtma Kolonunun Doğrusal Olmayan Genelleştirilmiş Öngörmeli Kontrolü. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, 14-16 Eylül 2011 (TOK 2011), Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Bildiriler Kitabı, 370-375.
- (8) **Giwa, A.**, Yüceer, M., Karadurmuş, E. ve Berber, R. Yeşilırmak Havzasına Deşarj Edilen Endüstriyel Bir Atıksu İçin pH Modeli ve Kalibrasyonu. Sekizinci Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 26–29 Ağustos 2008, İnönü Üniversitesi, Malatya. Tam Metinler Kitabı.
- (9) **Giwa, A.**, Yüceer, M., Karadurmuş, E. ve Berber, R. Yeşilırmak Havzasına Deşarj Edilen Endüstriyel Bir Atıksu İçin pH Modeli ve Kalibrasyonu. Sekizinci Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 26–29 Ağustos 2008, İnönü Üniversitesi, Malatya. Bildiri Özetleri Kitabı, 311-312.

Üyelik

- Associate Member of Institution of Chemical Engineers (IChemE)
- Graduate Student Member of American Institute of Chemical Engineers (AIChE)